

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERA
CIVIL**

**TEMA:
DISEÑO DE LAS OBRAS DE DESVÍO DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO CHONTAL**

**AUTORA:
ANDREA FERNANDA GORDÓN BASTIDAS**

**DIRECTOR:
JORGE IVÁN CALERO HIDALGO**

Quito, mayo de 2015

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DEL USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Quito, mayo de 2015

Andrea Fernanda Gordón Bastidas

C.I. 171927982-8

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a ser más fuerte y a valorar cada día.

A mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional, a mi tía que es como mi segunda madre quienes han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en una profesional.

A mis hermanas, por estar siempre a mi lado y brindarme su apoyo y su ayuda de una manera incondicional, a la pequeña familia que he formado mi hijo y mi esposo porque ellos son mi fortaleza para cada día ser mejor, a toda mi familia por darme siempre muestras de su cariño y apoyo

A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Y no me puedo ir sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto. Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a la Universidad Politécnica Salesiana, por recibirme en esta prestigiosa institución y por darme la oportunidad de irme formando en sus aulas a través de todos estos años, por haber abierto sus puertas y prepararnos para un futuro competitivo como personas de bien.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, muchas gracias por toda su paciencia y enseñanzas para con cada uno de sus alumnos.

Y un especial agradecimiento a mi tutor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento para el desarrollo de la misma, por su paciencia y por todo el tiempo brindado para que este proyecto llegue a su culminación de una manera favorable.

De todo corazón gracias.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	2
ESTUDIO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivo general.....	2
1.4 Objetivos específicos	2
1.5 Alcance	3
CAPÍTULO 2.....	4
BASES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DESVÍO DEL PROYECTO	
CHONTAL	4
2.1 Análisis de la información hidrológica y determinación del caudal de diseño del sistema de desvío	4
2.1.1 Información hidrológica existente	5
2.1.2 Actualización de la información hidrológica.....	8
2.1.3 Determinación del caudal de diseño	8
2.2 Análisis de la información geológica - geotécnica relacionada al sistema de desvío del proyecto Chontal	14
2.2.1 Geología del área del proyecto**	14
2.2.2 Investigaciones geológicas realizadas	15
2.2.3 Estratigrafía.....	15
2.2.4 Tectónica y neo tectónica	19
2.2.5 Sismo tectónica y sismicidad.....	20
2.2.6 Mapeo geológico y el perfil geológico del túnel de desvío	23
2.2.7 Análisis estadísticos de las discontinuidades (diaclasas y fallas) de macizo rocoso	23
2.2.8 Investigación geofísica con el método de sísmica de refracción	24
2.2.9 Sondeos mecánicos	27
2.2.10 Clasificación geomecánica	34
2.2.11 Resultados del proceso de clasificación geomecánica.....	40
2.2.12 Definiciones de los grupos geomecánicos principales	44
2.2.13 Parámetros geomecánicos del portal este (entrada).....	47
2.2.14 Parámetros geomecánicos del Túnel de Desvío	49
2.2.15 Parámetros geomecánicos del portal oeste (salida)	49
2.2.16 Predicción del comportamiento geomecánico	52
2.3 Condiciones Topográficas	56
CAPÍTULO 3.....	59

PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE LAS OBRAS DE DESVÍO.....	59
3.1 Criterios para el planteamiento de alternativas	59
3.2 Planteamiento de alternativas del Sistema de Desvío para el Proyecto Chontal	60
3.2.1 Alternativa de canal de desvío	60
CAPÍTULO 4.....	62
ANÁLISIS DE 2 ALTERNATIVAS DE LAS OBRAS DE DESVÍO PLANTEADAS PARA EL PROYECTO CHONTAL	62
4.1 Alternativa de Túnel de Desvío con flujo a presión	62
4.2 Alternativa de túnel de desvío con flujo de superficie libre	63
4.3 Comparación de las 2 alternativas y selección de la alternativa.....	63
CAPÍTULO 5.....	66
ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	66
5.1 Descripción del modelo y análisis técnico económico del túnel de desvío	66
5.2 Presentación de resultados	67
CAPÍTULO 6.....	76
DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA DEL SISTEMA DE DESVÍO DEL PROYECTO CHONTAL	76
6.1 Formulación (presentación) del modelo de PROTODYAKONOV	76
6.2 Correlación de la clasificación geomecánica con el modelo de Protodyakonov	82
6.3 Esquemas hidráulicos aplicables al sistema de desvío del proyecto Chontal para los portales de entrada y salida del túnel de desvío.....	89
6.4 Análisis geomecánico del túnel de desvío del proyecto Chontal con el sistema de Protodyakonov	91
6.5 Análisis hidráulico del sistema de desvío del proyecto Chontal	92
6.5.1 Túnel de desvío	92
6.5.2 Portales de entrada y de salida	95
6.5.3 Ataguías aguas arriba.....	100
6.5.4 Ataguía aguas abajo	101
6.6 Análisis estructural y dimensionamiento del revestimiento del túnel	101
6.6.1 Método de Metroproyekt	102
6.6.2 Método de Olga E. Bugaeva	107
CAPÍTULO 7.....	111
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL: INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD	111
7.1 Nombre del Proyecto	111
7.1.1 Actividad económica/Código del CCAN	111
7.1.2 Información del promotor del proyecto	111

7.1.3	Información del equipo técnico del proyecto	111
7.1.4	Objetivos.....	112
7.1.5	Descripción de áreas del proyecto	112
7.1.6	Monto de la inversión	113
7.1.7	Justificación de la localización	113
7.2	Marco legal	114
7.2.1	Normativa aplicable.....	114
7.2.2	Pertinencia de presentación del proyecto, en forma de Declaración de Impacto Ambiental (DIA)	115
7.3	Línea base	116
7.3.1	Criterios metodológicos.....	116
7.3.2	Análisis Detallado.....	121
7.3.3	Identificación de sitios contaminados o fuentes de contaminación*	134
7.3.4	Identificación y análisis de bienes y servicios ambientales.....	134
7.4	Descripción de las actividades del proyecto, obra o actividad	136
7.4.1	Partes, acciones y obras físicas	136
7.4.2	Ciclo de vida de proyecto	137
7.4.3	Cronograma de actividades del proyecto.....	138
7.4.4	Descripción de las actividades de acuerdo al Ciclo de Vida	139
7.4.5	Insumos requeridos	139
7.4.6	Mano de obra requerida	139
7.5	Determinación de áreas de influencia y áreas sensibles	139
7.5.1	Área de influencia.....	139
7.5.2	Áreas sensibles.....	140
7.6	Análisis de riesgo.....	144
7.7	Identificación y definición de impactos.....	146
7.8	Plan de manejo ambiental	158
7.8.1	Plan de Prevención y Mitigación de Impactos, PPM	159
7.8.2	Plan de Manejo de Desechos, PMD.....	162
7.8.3	Plan de Comunicación, Capacitación y Educación Ambiental, PCC	162
7.8.4	Plan de Contingencia, PDC	164
7.8.5	Plan de Seguridad y Salud ocupacional, PSS	165
7.8.6	Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas, PARA	166
7.8.7	Plan de Cierre, Abandono y Entrega del Área, PCA	168
CAPÍTULO 8.....		169
PRESUPUESTO.....		169
8.1	Definición de la metodología para obtener los precios unitarios de los rubros involucrados en el proyecto del sistema de desvío	169
8.2	Análisis de los precios unitarios de los rubros más representativos del proyecto	169
8.3	Presupuesto del Sistema de Desvío del Proyecto Chontal.....	170
8.4	Análisis de los precios unitarios más representativos del proyecto Chontal y comparación con el presupuesto del proyecto.....	170

CAPÍTULO 9.....	172
ELEMENTOS DE LA ORGANIZACIÓN DEL CIERRE DEL RÍO Y DESVÍO DE LAS AGUAS DEL RÍO GUAYLLABAMBA.....	172
9.1 Equilibrio de la piedra en el flujo	174
9.2 Cálculo de un cierre frontal del cauce	175
CONCLUSIONES.....	184
LISTA DE REFERENCIAS	185
ANEXOS	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características físicas de las cuencas de drenaje hasta las estaciones hidrométricas	6
Tabla 2.	Estaciones hidrométricas de interés	7
Tabla 3.	Variación estacional de los caudales mensuales río Guayllabamba en presa Chontal (m^3/s)	8
Tabla 4.	Duración general de caudales río Guayllabamba en Chontal	10
Tabla 5.	Variación estacional de caudales en el río Guayllabamba en Chontal.....	11
Tabla 6.	Caudales máximos registrados en río Guayllabamba D.J. Alambi	12
Tabla 7.	Caudales máximos asociados a un periodo de retorno río Guayllabamba.	14
Tabla 8.	Comparación de valores de Caudales.....	14
Tabla 9.	Características técnicas de los perfiles sísmicos realizados, incluidos en el área de interés del túnel	25
Tabla 10.	Clasificación de los macizos rocosos en base al índice RMR.....	37
Tabla 11.	Clasificación de alteración	40
Tabla 12.	Síntesis de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos	46
Tabla 13.	Parámetros de entrada para el cálculo de RMR	46
Tabla 14.	Estimación indicativa de las clases RMR para los diversos grupos geomecánicos	47
Tabla 15.	Resumen de las características de las familias de juntas.....	48
Tabla 16.	Características de resistencia al corte de las discontinuidades (análisis probabilístico).....	48
Tabla 17.	Resumen de las características de las familias de juntas.....	51
Tabla 18.	Valores de resistencia a compresión	52
Tabla 19.	Características de resistencia al corte de las discontinuidades (análisis probabilístico).....	52
Tabla 20.	Modelo de clasificación para la predicción del comportamiento a la excavación.....	53
Tabla 21.	Coordenadas de los puntos de GPS en el sector de Chontal	57
Tabla 22.	Cálculos del diámetro del túnel con flujo a presión	62
Tabla 23.	Cálculo del costo del total	72
Tabla 24.	Coeficientes de dureza de Protodyakonov	80
Tabla 25.	Determinación del RMR (Bieniawski 1989).....	83
Tabla 26.	Puntaje del RQD.....	83

Tabla 27.	Puntaje del espaciamiento de discontinuidades	83
Tabla 28.	Puntaje de las condiciones de discontinuidades	84
Tabla 29.	Agua subterránea	84
Tabla 30.	Corrección por orientación de discontinuidades	84
Tabla 31.	Categorías de la clasificación RMR (Bieniawski 1989)	84
Tabla 32.	Indicadores geomecánicos y características constructivas (Bieniawski 1989).....	85
Tabla 33.	Parámetros del sistema “Q” (Barton y otros, 1974)	85
Tabla 34.	Índice de rugosidad	86
Tabla 35.	Índice de alteración	86
Tabla 36.	Coeficiente reductor	86
Tabla 37.	Parámetro SRF	86
Tabla 38.	Clasificación por el sistema “Q” (Barton y otros, 1974).....	87
Tabla 39.	Presión de Roca en Macizos Duros	91
Tabla 40.	Datos para encontrar diámetro óptimo	94
Tabla 41.	Costo del Túnel	95
Tabla 42.	Resultados de Fuerzas y Momentos	98
Tabla 43.	Cálculo altura ataguía aguas arriba	101
Tabla 44.	Bugaeva de acuerdo al peso propio	109
Tabla 45.	Bugaeva de acuerdo al peso líquido	109
Tabla 46.	Bugaeva de acuerdo a la carga	110
Tabla 47.	Actividad Económica/Código del CCAN	111
Tabla 48.	Descripción de áreas del proyecto	112
Tabla 49.	Estaciones Representativas del área de estudio.....	123
Tabla 50.	Puntos de Muestreo de Agua.....	124
Tabla 51.	Resultados de Análisis de Aguas	125
Tabla 52.	Punto de muestreo para el estudio de la mastofauna en el área	129
Tabla 53.	Órdenes, familias, número de géneros y especies de mamíferos	129
Tabla 54.	Puntos de muestreo para el estudio de la Avifauna en el área	131
Tabla 55.	Sensibilidad a Deslizamientos	141
Tabla 56.	Criterios de calificación para la sensibilidad ambiental.....	143
Tabla 57.	Valores de las características de los impactos.....	147
Tabla 58.	Niveles de ruido generados por maquinaria de construcción estándar	152
Tabla 59.	Nivel de ruido estimado para el peor escenario posible.....	153

Tabla 60.	Matriz de Identificación de Impactos.....	155
Tabla 61.	Matriz de Evaluación de Impactos	156
Tabla 62.	Matriz de Evaluación de Impactos – Significancia.....	157
Tabla 63.	Plan de Prevención y Mitigación de Impactos, PPM.....	159
Tabla 64.	Plan de Manejo de Desechos, PMD	162
Tabla 65.	Plan de Comunicación, Capacitación y Educación Ambiental, PCC	163
Tabla 66.	Plan de Contingencia, PDC	164
Tabla 67.	Plan de Seguridad y Salud ocupacional, PSS.....	165
Tabla 68.	Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas, PARA.....	166
Tabla 69.	Plan de Cierre, Abandono y Entrega del Área, PCA	168
Tabla 70.	Excavación del Túnel	169
Tabla 71.	Revestimiento.....	170
Tabla 72.	Relleno de ataguías.....	170
Tabla 73.	Desbroce, desbosque y limpieza	170
Tabla 74.	Presupuesto del Sistema de Desvío del Proyecto Chontal	170
Tabla 75.	Presupuesto actual	171
Tabla 76.	Presupuesto anterior	171
Tabla 77.	Cálculo del cierre del cauce	183

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Mosaico de cartas topográficas 1:50.000 (IGM).....	7
<i>Figura 2.</i>	Representación gráfica de la variación estacional en la Presa Chontal.....	9
<i>Figura 3.</i>	Representación gráfica de las curvas de descarga estación río Guayllabamba D.J. Alambi.	10
<i>Figura 4.</i>	Curva de duración general del río Guayllabamba en Chontal.	11
<i>Figura 5.</i>	Curva de variación estacional del río Guayllabamba en la presa Chontal.	12
<i>Figura 6.</i>	Zona de fallas en el área del proyecto	21
<i>Figura 7.</i>	Sismicidad histórica 1541-II década siglo XX, sismicidad instrumental, II década siglo XX-1990 (INEN 2001).....	22
<i>Figura 8.</i>	Mapa de zonificación del riesgo sísmico del Ecuador y la tabla de valores del factor Z según la zona sísmica adoptada (INEN 2001).....	23
<i>Figura 9.</i>	(b y c,) Localización de diagramas estructurales del portal Este con estudio estadístico e identificación de las principales familias de fracturas; d) diagramas estructurales del portal Oeste con estudio estadístico e identificación de las principales familias de fracturas; e) diagrama estructural con las familias de juntas principales y secundarias que se encuentran en el tramo central de Túnel de Desvío.	24
<i>Figura 10.</i>	Ubicación de los perfiles geofísicos (en azul).....	26
<i>Figura 11.</i>	Ejemplos de interpretación de los perfiles sísmicos LS5 y LS7 incluidos, a lo largo del eje del Túnel de Desvío del proyecto.....	27
<i>Figura 12.</i>	Esquemas de Russo	35
<i>Figura 13.</i>	Tabla de Hoek & Marinos (2000) para el cálculo del GSI.....	36
<i>Figura 14.</i>	Grafico para el cálculo aproximado de GSI del tipo cuantitativo (G.Russo, 2007).....	36
<i>Figura 15.</i>	Esquema del perfil de meteorización de los macizos rocosos (Geotechnical Control Office. Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 1988 - Guide to rock and soil description).....	39
<i>Figura 16.</i>	Ejemplo de estimación probabilística del GSI mediante el uso del método cuantitativo (Russo, 2007), para el levantamiento geoestructural (RS55) estudiado en un afloramiento de Granodiorita.	41
<i>Figura 17.</i>	Distribución de frecuencia de GSI de las Granodioritas que caracterizan el Túnel de Desvío.	42
<i>Figura 18.</i>	Esquemas de valoración	42

<i>Figura 19.</i> Definición de los grupos geomecánicos principales en base a los resultados de los análisis de las características geomecánicas de los macizos rocosos que caracterizan el Túnel de Desvío en cuestión.	45
<i>Figura 20.</i> Área del portal de entrada (este) del Túnel de Desvío	47
<i>Figura 21.</i> Área del portal de salida (oeste) del Túnel de Desvío, pocos metros aguas arriba de la quebrada Alambi Chico.....	50
<i>Figura 22.</i> Análisis simplificado para la evaluación del comportamiento a la excavación y de los riesgos potenciales	55
<i>Figura 23.</i> Ubicación de los puntos de GPS en el sector de Chontal.....	58
<i>Figura 24.</i> Tipos de secciones para túneles de desvío.	64
<i>Figura 25.</i> H.1: Esquema en planta de las obras de desvío.....	68
<i>Figura 26.</i> H.2: Corte transversal del sistema de desvío.....	68
<i>Figura 27.</i> H.3: Corte longitudinal en eje del túnel de desvío.	68
<i>Figura 28.</i> Gráfica análisis técnico-económico.	72
<i>Figura 29.</i> Selección diámetro óptimo. Nota: NAAr = cota de nivel aguas arriba. NB1 = cota de nivel de agua en la sección inicial. CR = nivel de fondo en el ingreso al túnel. Bs = cota superior de la cúpula del túnel.....	75
<i>Figura 30.</i> Presión de roca en macizos duros. Clasificación geomecánica de Protodyakonov	78
<i>Figura 31.</i> Presión de Roca en Macizos Blandos. Clasificación geomecánica de Protodyakonov	81
<i>Figura 32.</i> Esquema del portal de entrada para ($i < i_{cr}$)	90
<i>Figura 33.</i> Esquema del portal de entrada ($i > i_{cr}$).	91
<i>Figura 34.</i> Gráfica análisis técnico-económico.	95
<i>Figura 35.</i> Esquema método de METROPROYEKT	103
<i>Figura 36.</i> Esquema de red articulada.....	104
<i>Figura 37.</i> Ubicación del Proyecto	113
<i>Figura 38.</i> Sector del Río Guayllabamba que sería desviado por el túnel.....	114
<i>Figura 39.</i> Zona pronunciada desprovista de vegetación natural, zona de estudio del túnel de desvío.....	126
<i>Figura 40.</i> Remanentes de bosque natural adyacentes a la zona del túnel	127
<i>Figura 41.</i> Detalle del área intervenida y bosque natural de difícil acceso, zona del túnel de desvío.....	129

<i>Figura 42.</i> Detalle del bosque y pastos para la crianza de ganado, zona del túnel de desvío	131
<i>Figura 43.</i> Orthoptero, avistado en el área de influencia del túnel de desvío.....	133
<i>Figura 44.</i> Diagrama de enrocado transversal.	175
<i>Figura 45.</i> Gráfico $\left(\frac{\Delta H}{H}\right) = f\left(\frac{z}{H_0}\right)$	176

RESUMEN

La información hidrológica, fue obtenida del proyecto hidroeléctrico Chontal, en esta tesis se realizó la actualización de los datos hidrológicos existentes para poder realizar el diseño del túnel de desvío, objetivo de este trabajo. De la misma manera se procedió con la información geológica, geotécnica relacionada al sistema de desvío.

Una vez actualizada la información se procedió al planteamiento y análisis de las alternativas que podrían ser útiles para el sistema de desvío del proyecto Chontal; de este análisis se desprende que, de acuerdo a las condiciones hidrológicas, geológicas – geotécnicas y topográficas la mejor opción para el desvío del río Guayllabamba es un túnel de sección circular, con un $D = 12\text{m}$, para este diámetro se realizó un análisis con flujo a presión y flujo de superficie libre.

Para determinar la estabilidad de la cúpula del túnel se utilizó el modelo de Protodyakonov, seguido del diseño de un muro que servirá de portal en la entrada y salida del túnel, así como el cálculo para el cierre frontal del cauce, determinando el diámetro óptimo de la roca que formará parte del enrocado que resista la filtración de los caudales sin provocar su desmoronamiento.

Una vez obtenido todos los parámetros para la construcción del túnel se procedió a realizar el análisis de presupuesto de los rubros más representativos, y se realizó una comparación de los mismos rubros del proyecto ya existente.

ABSTRACT

Hydrological information was obtained from the Chontal hydroelectric project, in this thesis the updating of existing hydrological data was performed to make the diversion tunnel design objective of this work. Similarly we proceeded with the geological, geotechnical system related information forwarding.

Once you update your information we proceeded to approach and analysis of the alternatives that could be useful for the system Chontal diversion project; This analysis shows that, according to hydrological, geological - geotechnical and topographical the best choice for the diversion of the Guayllabamba River is a tunnel of circular section with a $D = 12\text{m}$, for this diameter analysis was performed with flow pressure and free surface flow.

Protodyakonov model, followed by the design of a wall to serve as a portal in the entrance and exit of the tunnel, and the calculation for the front end of the channel was used to determine the stability of the dome of the tunnel, determining the optimal diameter the rock that form part of rockfill resist the flow filtration without causing its collapse.

Once obtained all parameters for tunnel construction proceeded to conduct budget analysis of the most representative items, and a comparison of purchases of existing project took place.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Hidroeléctrico Chontal se encuentra ubicado en los límites de las provincias de Pichincha e Imbabura, aproximadamente a 120 km al noroeste de la ciudad de Quito y a 6 Km. de la población de Chontal. Tiene como propósito la producción de energía mediante la utilización de las aguas del río Guayllabamba y sus tributarios, en el tramo cercano a la confluencia con el río Changuayacu.

El objeto de este informe es el túnel de desvío, mismo que de acuerdo a las condiciones topográficas de la zona del proyecto se encuentra ubicado en la margen izquierda del río Guayllabamba, con una longitud de 402.72m y un diámetro interno de 12m, será íntegramente revestido de hormigón. A la entrada del túnel se colocará una estructura que vienen a ser los portales tanto en la entrada como en la salida del túnel, éste túnel se utilizará sólo para el desvío de las aguas del río Guayllabamba mientras dure la construcción de la presa principal, una vez finalizado la construcción de la presa se procederá al cierre permanente del túnel.

El caudal de diseño de este túnel es de 1242 m³/s, que corresponde a un periodo de retorno de 10 años.

CAPÍTULO 1

ESTUDIO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El proyecto hidroeléctrico Chontal en el río Guayllabamba está localizado en un área al noroeste de Quito en la frontera de las provincias de Pichincha e Imbabura. Actualmente se encuentra en la fase final de la etapa de preinversión.

Para la construcción de la presa y de las obras auxiliares es necesario desviar las aguas del Río Guayllabamba durante la construcción de la presa, central hidroeléctrica y obras anexas; el túnel de desvío se ubica en la margen izquierda en concordancia con las condiciones geológicas y topográficas de la zona y considerando la ubicación del Río Charguayacu en la margen derecha.

1.2 Justificación

Los proyectos de ingeniería civil que incluyen obras fluviales, antes de su ejecución requieren del diseño y construcción de las obras de desvío, que permitan mediante un túnel y diques temporales (ataguías) desviar las aguas del cauce natural, en este caso del río Guayllabamba, para la construcción de las obras principales como son presa, central hidroeléctrica y obras anexas.

1.3 Objetivo general

- Diseñar las obras de desvío en el Río Guayllabamba para la construcción de la Presa Chontal y obras anexas.

1.4 Objetivos específicos

- Plantear y analizar al menos dos alternativas de obras de desvío, en concordancia con el esquema de ingeniería adoptado para el Proyecto Hidroeléctrico Chontal así como con la información existente en hidrología, hidrogeología, geología y geotecnia;

- Determinar la alternativa más propicia (técnica, económica y ambiental) para la ejecución de la obra física de las obras de desvío.
- Utilizar medios tecnológicos para el diseño del túnel de desvío, sin prescindir de los conocimientos y resultados técnicos acumulados y validados en los estudios existentes;
- Realizar el estudio del Impacto Ambiental ocasionado por la construcción del Túnel de Desvío;
- Preparar el presupuesto de las obras de desvío;
- Realizar un análisis de sensibilidad respecto al impacto de las obras de desvío en los indicadores económicos del Proyecto Hidroeléctrico Chontal.

1.5 Alcance

El alcance de esta tesis corresponde al diseño de las obras de desvío del proyecto hidroeléctrico Chontal, en el nivel de factibilidad y tiene por objeto formular una nueva alternativa de dichas obras, aplicando una metodología y marco teórico diferentes a los utilizados para el diseño definitivo de la alternativa oficial, formulada por parte de la Asociación Geodata – Astec. En consecuencia el alcance y resultados de esta tesis no están vinculados a ningún compromiso o convenio con empresa o institución alguna.

CAPÍTULO 2

BASES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DESVÍO DEL PROYECTO CHONTAL

Para diseñar el túnel de desvío se requiere conocer sus parámetros de diseño relacionados con las condiciones físicas, particularmente, hidrológicas, geológicas-geotécnicas y topográficas.

2.1 Análisis de la información hidrológica y determinación del caudal de diseño del sistema de desvío

El río Guayllabamba pertenece al sistema hidrográfico del río Esmeraldas (Vertiente Occidental - Pacífico), su cuenca de drenaje se desarrolla desde del sureste al noroeste, y atraviesa las provincias de Pichincha e Imbabura.

La cuenca del río Guayllabamba está flanqueada por elevaciones importantes como Cotopaxi, Illiniza Sur, Illiniza Norte, Antisana y Cayambe; que definen pisos altitudinales incluso superiores a los 5.000 m.s.n.m.

Las pendientes de la superficie de la cuenca varían desde muy fuertes hasta bajas, que son propias de áreas de llanura y que distribuidas en el área de la cuenca determinan una pendiente media del orden del 35 %.

El río Guayllabamba nace en las estribaciones del volcán Illiniza Sur con el nombre de quebrada Pilongo, a continuación toma el nombre de río Jambelí o San Pedro en las cercanías de la población Machachi. Luego de la confluencia de los ríos San Pedro y Pita toma el nombre de Guayllabamba; la pendiente media del cauce principal es del orden del 1,8%.

2.1.1 Información hidrológica existente

La cuenca hidrográfica de este estudio, comprende varias secciones de interés hidrológico, que corresponden a los sitios de emplazamiento de las estaciones hidrométricas de importancia para los Proyectos, y que son:

- Estación hidrométrica río Alambi en Churupamba;
- Estación hidrométrica río Guayllabamba A.J. Cubi;
- Estación hidrométrica río Guayllabamba en Puente Chacapata;
- Estación hidrométrica río Guayllabamba D.J. Alambi; y,
- Estación hidrométrica río Intag D.J. Pamplona.

Se detallan las características físicas más relevantes de las cuencas hidrográficas que permiten conocer las condiciones de escurrimiento y el tipo de drenaje que tienen las mismas.

Estas características son:

- Área;
- Perímetro;
- Coeficiente de compacidad o Gravelious;
- Longitud del cauce principal;
- Pendiente media del cauce;
- Pendiente media de la cuenca; y
- Elevación media de la cuenca.

Resumen de las características físicas de las cuencas.

Tabla 1. *Características físicas de las cuencas de drenaje hasta las estaciones hidrométricas*

COD.	ESTACIÓN, RIO	Cota (m.s.n.m.)	Á (km ²)	P (km)	Lc (km)	Kc	Ic (%)	Sc (%)	Ec (m.s.n.m.)
H136	Río Alambi en Churupamba	1047,0	449,5	115,4	56,7	1,5	3,3	50,24	2347
H145	Río Guayllabamba A.J. Cubi	1527,0	4124,3	359,3	129,7	1,6	1,4	33,02	3193
H146	Río Guayllabamba D.J. Alambi	615,0	6438,6	494,4	182,2	1,7	1,4	39,03	2896
H149	Río Guayllabamba en Pte. Chacapata	884,0	4669,2	418,4	164,7	1,7	1,4	34,47	3098
H150	Río Intag D.J. Pamplona	957,0	1043,8	142,5	56,8	1,2	3,5	51,87	2328

Nota: (INAMHI), Anuarios Hidrológicos

En donde:

Cota: cota de la sección en el río (m s.n.m.);

A: área de drenaje, (km²);

P: perímetro, (km);

Lc: longitud del cauce principal, (km);

Kc: coeficiente de compacidad, (adimensional);

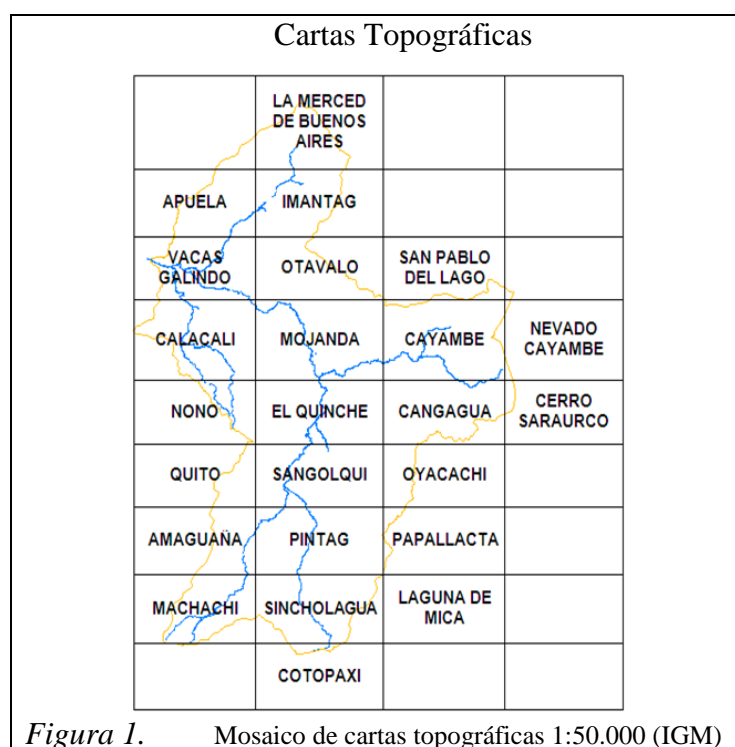
Ic: pendiente media del cauce principal, (%);

Sc: pendiente media de la cuenca, (%); y,

Ec: elevación media de la cuenca, (m s.n.m.).

La información cartográfica utilizada para la caracterización de la cuenca de drenaje fue la siguiente:

- Instituto Geográfico Militar (IGM), 24 Cartas topográficas de escala 1:50.000.
- SIG-AGRO, información temática de uso de suelo y tipo de suelos de las Provincias Pichincha, Cotopaxi, Imbabura, Napo, escala 1:250.000,
- El mapa temático del tipo de suelo, fue revisado y reformado por la Asociación GEODATA-ASTEC



Inicialmente se dispuso de las series de caudales medios mensuales del INAMHI, correspondientes a las estaciones: Alambi en Churupamba (1976 – 1998), Granobles A.J. Guachalá (1962 – 2007), Guayllabamba A.J. Cubi (1964 – 1992); Guayllabamba D.J. Alambi (1966 – 2007); Guayllabamba D.J. Pachijal (1978 – 1997); Guayllabamba D.J. Pisque (1978 – 2007); Guayllabamba en Puente Cachapata (1978 – 2007); Intag D.J. Pamplona (1976 – 2005); y, Guayllabamba A.J. Blanco (1974 – 2007). De las cuales se seleccionan 5 estaciones que se encuentran en el área directa de los Proyectos, gráficamente su ubicación se encuentra en el plano 2.

Tabla 2. *Estaciones hidrométricas de interés*

COD	ESTACION	LATITUD	LONGITUD	TIPO	ELEVACION	INSTITUCION
H136	Río Alambi en Churupamba	00°09'00" N	78°40'50"	LG	920 msnm	INAMHI
H145	Río Guayllabamba A.J. Cubi	00°05'35" N	78°25'40"	LG	1540 msnm	INAMHI
H146	Río Guayllabamba D.J. Alambi	00°14'10" N	78°44'30"	LG	625 msnm	INAMHI
H149	Río Guayllabamba en Puente Chacapata	00°11'06" N	78°38'44"	LG	860 msnm	INAMHI
H150	Río Intag D.J. Pamplona	00°13'20" N	78°37'25"	LG	1000 msnm	INAMHI

Nota: msnm= metros sobre el nivel del mar. Las estaciones se encuentran gráficamente ubicadas en el plano No 2.

Fuente: (INAMHI) Anuarios Hidrológicos

2.1.2 Actualización de la información hidrológica

La base de datos se complementó con los caudales medios diarios que fueron extraídos de las publicaciones anuales del INAMHI para las estaciones hidrométricas referidas en la tabla anterior.

Para el diseño del túnel de desvío fue necesario realizar una actualización de los datos ya que para los estudios del Proyecto Hidroeléctrico Chontal se tenía calculado hasta el año 2006, por tal motivo se actualizó los datos hasta el año 2010, datos que fueron extraídos de las publicaciones del INAMHI, en los que se constató que existían vacíos en los datos, así que se procedió a realizar el relleno de los mismos utilizando la misma metodología para rellenar los datos de las series de los períodos de 1963-2006.

Los métodos utilizados fueron de correlación y regresión, con lo cual se completó las series para el periodo representativo 1963-2010.

2.1.3 Determinación del caudal de diseño

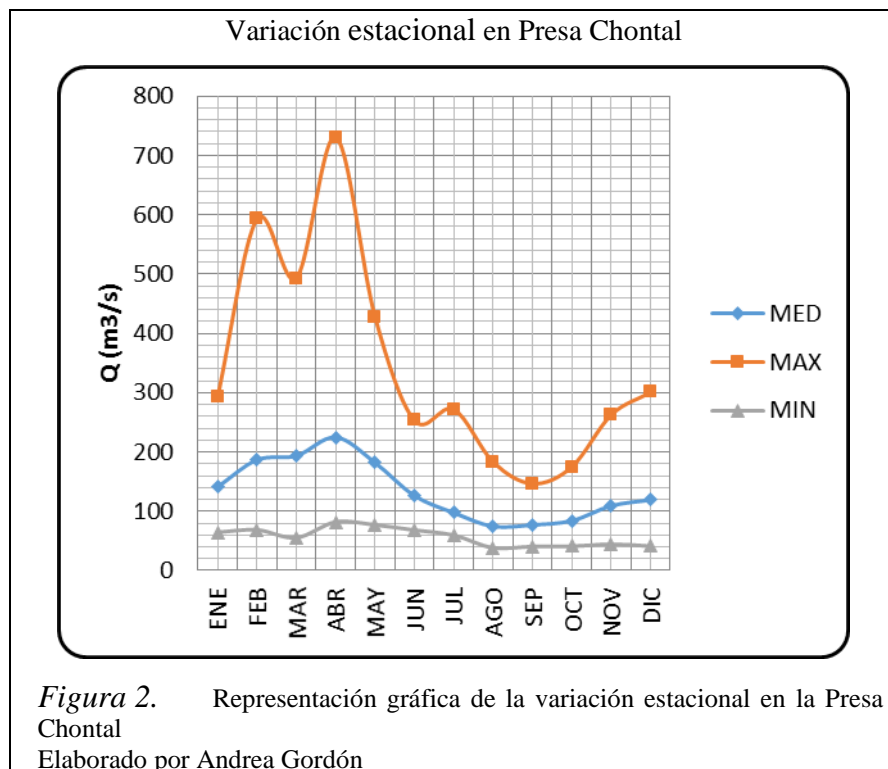
2.1.3.1 Caudales característicos mensuales

Se muestra a continuación los caudales característicos mensuales en el sitio de obras:

Tabla 3. *Variación estacional de los caudales mensuales río Guayllabamba en presa Chontal (m^3/s)*

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MED	141,06	186,76	193,49	224,92	181,87	126,20	97,47	74,58	77,05	84,11	109,28	119,18
MAX	293,28	592,85	492,88	730,88	427,56	253,06	271,87	183,00	146,63	175,10	262,73	300,66
MIN	64,72	68,75	55,47	82,18	77,12	68,34	59,66	38,47	40,74	41,11	44,57	41,24

Nota: Elaborado por Andrea Gordón



2.1.3.2 Curvas de descarga

Las curvas de descarga para las secciones de aforos de las estaciones son de tipo potencial y responden a la forma:

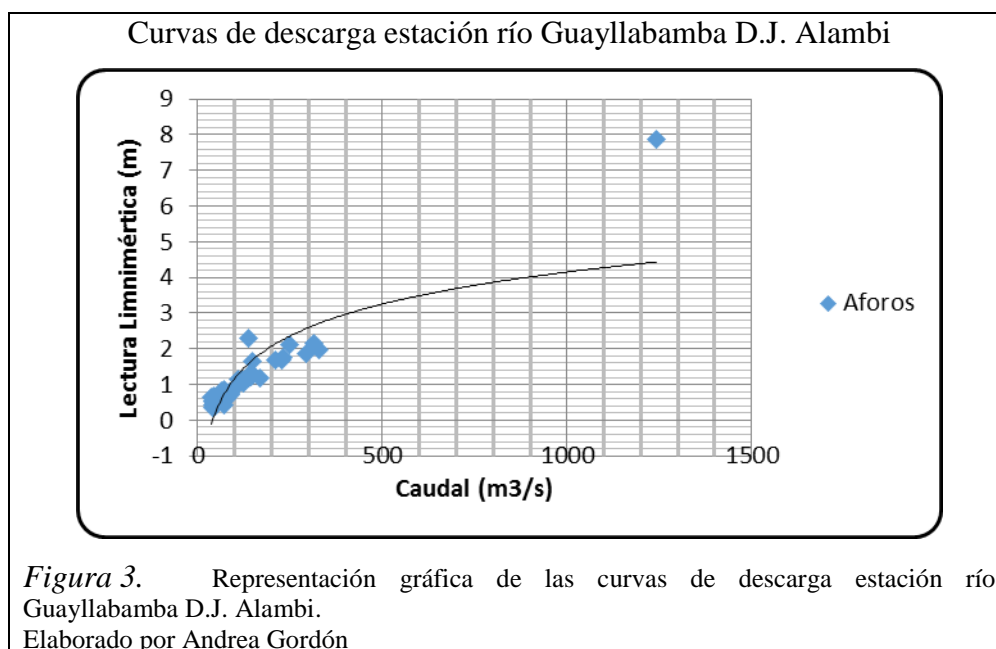
$$Q = a (H - H_o)^b$$

Donde:

Q: caudal, (m³/s);

H: lectura limnimétrica, (m); y,

a, Ho y b: coeficientes de la ecuación potencial.



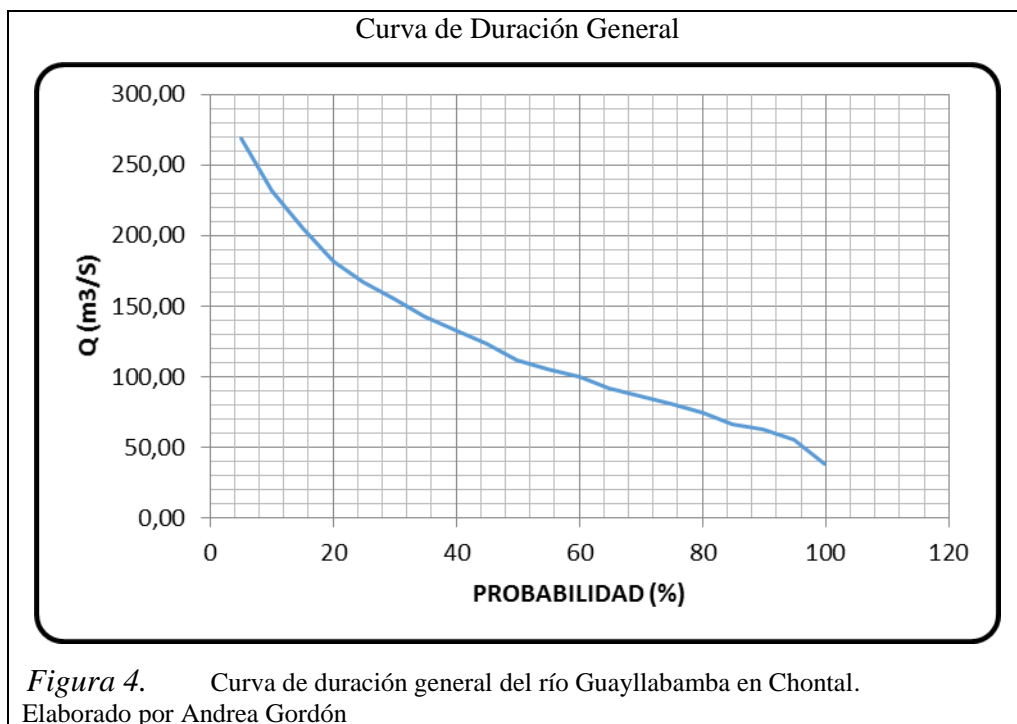
2.1.3.3 Duración general de caudales

La siguiente tabla se muestra la duración general de caudales diarios y mensuales en el sitio de obra.

Tabla 4. *Duración general de caudales río Guayllabamba en Chontal*

Probabilidad (%)	Caudal Mensual (m3/s)	Caudal Diario (m3/s)
5	268,78	208,09
10	231,55	184,87
15	205,00	170,22
20	181,73	161,16
25	167,43	152,49
30	155,03	146,93
35	142,86	143,30
40	133,05	138,66
45	123,37	134,23
50	112,02	129,98
55	105,40	125,74
60	100,00	121,55
65	91,53	117,82
70	86,35	113,77
75	81,04	109,23
80	74,18	104,47
85	66,81	97,60
90	62,54	90,43
95	55,47	80,67
100	38,47	70,64

Nota: Elaborado por Andrea Gordón

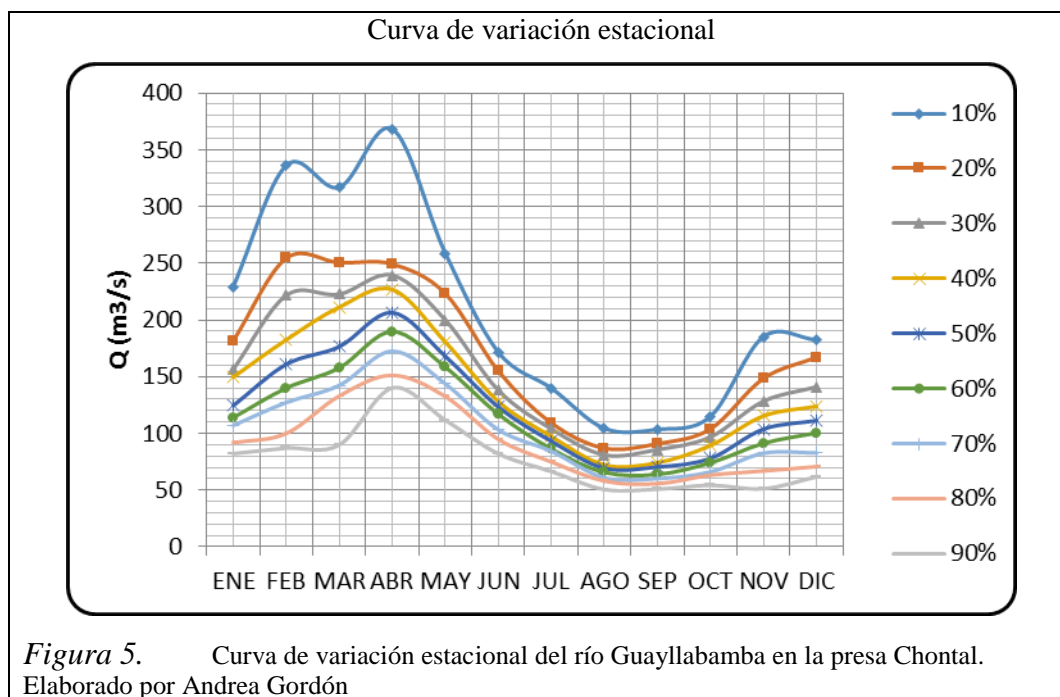


La variación estacional de caudales del río Guayllabamba en el sitio de obra se muestra para probabilidades de excedencia comprendidas entre 10 y 90%.

Tabla 5. Variación estacional de caudales en el río Guayllabamba en Chontal

Variación estacional de caudales (m ³ /s)												
p(%)	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
10	229,37	336,30	316,98	368,46	258,79	171,62	139,90	104,45	103,50	114,97	185,33	182,49
20	181,73	254,42	250,51	249,26	223,29	155,03	109,11	86,95	90,91	103,97	148,47	167,18
30	156,50	221,70	222,71	239,48	199,96	138,06	104,00	81,04	85,79	96,88	128,40	141,01
40	149,61	182,59	211,31	226,83	180,62	128,14	97,32	72,28	74,18	89,38	115,40	123,86
50	124,48	160,98	176,51	206,44	168,02	123,29	93,10	69,33	70,43	78,01	103,82	111,28
60	113,98	140,02	157,85	189,78	158,44	117,02	86,35	65,71	63,88	74,10	91,29	100,47
70	107,06	127,29	142,38	172,56	143,75	103,30	84,26	60,87	60,23	66,06	82,59	82,81
80	91,82	100,00	133,08	151,24	132,55	94,83	74,95	58,04	55,66	63,26	66,93	70,76
90	82,17	87,03	89,87	140,12	111,70	82,11	66,50	50,63	50,89	54,31	51,28	61,79

Nota: Elaborado por Andrea Gordón



2.1.3.4 Caudales máximos

Los caudales máximos registrados para el sitio de obras pertenecen a la estación Guayllabamba D.J. Alambi.

Tabla 6. Caudales máximos registrados en río Guayllabamba D.J. Alambi

Año	Día/Mes	Guayllabamba DJ Alambi	
		Qmi (m³/s)	Qmd (m³/s)
1966	20-dic	494,0	325,5
1967	13-feb	487,0	367,9
1968	18-abr	450,0	369,2
1969	04-feb	542,0	340,5
1970	27-feb	582,0	550,0
1972	28-ene	517,0	446,3
1973	08-abr	360,0	312,3
1974	10-mar	694,0	562,0
1975	26-feb	633,0	585,5
1976	08-jun	409,0	238,4
1977	29-mar	347,0	281,4
1979	19-may	875,1	208,8
1980	28-feb	1032,1	495,5
1982	28-dic	918,7	764,9
1983	14-abr	720,6	600,0
1985	25-abr	612,3	408,0
1988	13-abr	394,7	353,2
1989	28-ene	549,7	549,7
1990	31-dic	381,1	154,1
1991	28-mar	532,5	336,5
1992	18-abr	413,7	191,8
1993	14-abr	906,7	518,3

Año	Día/Mes	Guayllabamba DJ Alambi	
		Qmi (m³/s)	Qmd (m³/s)
1995	14-abr	568,0	473,0
1996	15-mar	675,0	562,0
1997	17-nov	485,6	235,6
1998	05-may	406,6	338,5
1999	18-mar	1227,9	898,89
2000	22-may	1236,1	904,91
2004	09-ene	666,0	487,52
2005	12-abr	1453,9	1064,35
2006	18-abr	1647,8	1372,0
2007	19-may	841,7	616,19
2008	26-mar	1647,3	1205,92
2010	22-dic	510,9	374,01

Nota: Anuarios INAMHI. Elaborado: Andrea Gordón

Qmi: Caudal máximo instantáneo

Qmd: Caudal medio diario

2.1.3.5 Caudales máximos para diferentes períodos de retorno

Para determinar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno se utilizó los datos de la estación H146 y se realizó el cálculo mediante el método de Gumbel cuya expresión es la siguiente:

$$X_{tr} = X_m + K S_x$$

Donde:

X_{tr}: Valor máximo para un periodo de retorno T.

X_m: Media de la serie dada de valores máximos.

K: Factor de Frecuencia, donde

$$K = y_T - y_n S_n$$

Siendo:

y_T: Variable de Gumbel para el tiempo de retorno T. se determina a partir del valor del periodo de retorno.

y_n, S_n se obtienen a partir del número de años de la serie, mediante tablas.

Se determinan los siguientes caudales máximos asociados a un periodo de retorno para el río Guayllabamba en el sitio de obra.

Tabla 7. *Caudales máximos asociados a un periodo de retorno río Guayllabamba*

Estación/Sección/Río	Periodo de Retorno (años)		
	5	10	100
Guayllabamba en Presa Chontal	1012	1242	1962

Nota: Para determinar el caudal de diseño del túnel de desvío se utilizó como referencia los datos que se obtuvieron en los estudios de factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Chontal, en este documento se actualizo las series de caudales para realizar los respectivos cálculos.

Elaborado por Andrea Gordón

Comparación de los caudales calculados:

Tabla 8. *Comparación de valores de Caudales*

Estación/Sección/Río	Periodo de Retorno (años)		
	5	10	100
Datos Existentes	890	1050	1560
Datos Actualizados	1012	1242	1962

Nota: Elaborado por Andrea Gordón

2.1.3.6 Caudal de diseño para túnel de desvío

El desvío del río Guayllabamba previsto para la construcción de la presa Chontal fue calculado para 1242 m³/s, caudal correspondiente a un periodo de retorno de 10 años.

*Esta información fue complementada y actualizada a partir de la información del Proyecto Hidroeléctrico Chontal.

2.2 Análisis de la información geológica - geotécnica relacionada al sistema de desvío del proyecto Chontal

2.2.1 Geología del área del proyecto**

El área de proyecto está ubicada en la estribación occidental de la Cordillera Occidental que atraviesa de norte a sur el Ecuador. El zócalo de esta cordillera está constituido por rocas mesozoicas generalmente volcánicas básicas, localmente metamorfizadas. Estas rocas se encuentran cubiertas por formaciones sedimentarias más recientes de naturaleza marina (Formación de Yunguilla) o volcánica (Formación Silante).

A lo largo de la cordillera se encuentran intrusiones o batolitos, siempre con direcciones estructurales NNE-SSW a NE-SW, de granitos, granodioritas o gabros.

2.2.2 Investigaciones geológicas realizadas

El estudio geológico del proyecto se basa en los resultados obtenidos de las investigaciones geológicas realizadas, para el proyecto de licitación del Túnel de Desvío, durante este estudio, el informe geológico se basó en los siguientes trabajos y medidas tomadas a lo largo del Túnel de Desvío:

- Levantamiento geológico de detalle en escala 1:1.000 y perfil geológico a lo largo del eje del Túnel de Desvío;
- Medidas y procesamiento estadístico de discontinuidades de rocas en varios sitios en el sector del Túnel de Desvío y en particular en los sectores de los portales y a lo largo del eje de la obra.
- Una campaña de Investigación Geofísica, utilizando el Método de Sísmica de Refracción a lo largo de 8 perfiles localizados en la margen izquierda con un total de 560 m de longitud.
- Tres sondeos geognósticos con recuperación de testigos: BCPR-11 en el sitio del portal de entrada del túnel de desvío, BCPR-9 poco aguas abajo del tapón y BCPR-12 en el sector oriental del túnel y otros en sectores limítrofes.

2.2.3 Estratigrafía

El área de influencia del proyecto hidroeléctrico de Chontal está caracterizada por el afloramiento de las siguientes formaciones geológicas:

- **Metamórfico de Chontal (Kch)**, parte de la Formación Macuchi y constituido por pizarras, esquistos y cuarcitas.

Se caracteriza por la presencia de rocas volcánicas andesíticas, intercaladas con sedimentos marinos altamente consolidados y una eventual presencia de rocas ultramáficas.

En el área del proyecto la Formación Macuchi está constituida por el Metamórfico de Chontal, caracterizado por pizarras negras localmente muy fracturadas (500 m aguas abajo de San Roque y en proximidad del pueblo de Chontal), con evidentes superficies de esquistosidad con orientación NE-SW y altos ángulos de inclinación variables hacia NW o SE. Localmente, y generalmente en proximidad del contacto con el Batolito Apuela-Nanegal (entre San Roque y el río Chalguyacu), la Formación está constituida por cuarcitas intercaladas dentro de las pizarras. Las cuarcitas se encuentran macizas, con esquistosidad poco evidente, son negras y con estructura interna cristalina. Cerca del contacto con las granodioritas se encuentran, sobretodo en la ladera izquierda del río Guayllabamba, algunos diques de roca intrusiva.

Además, el contacto entre el Metamórfico de Chontal y el Batolito Apuela-Nanegal está también afectado por una estructura tectónica de importancia regional con dirección NNE-SSW a NE-SW y caracterizado por movimientos predominantes de cizalla dextral.

Un rasgo litológico importante observado en los afloramientos del río Guayllabamba es la presencia de diques de intrusivo, permitiendo un metamorfismo de contacto muy importante en los esquistos cuarcíticos hasta alcanzar las cuarcitas duras y la presencia de minerales calcosilicatos como granates y otros.

- **Batolito Apuela-Nanegal (a)**

El Batolito Apuela-Nanegal, está constituido por granodioritas predominantes y en manera subordinada por tonalitas, granitos, dioritas y cuarzdioritas. Se trata de rocas plutónicas con minerales de grano grueso a medio, a veces ligeramente porfirítica; en particular cerca del contacto con el Metamórfico de Chontal los cristales de biotita parecen más grandes de lo que se encuentran en otros sitios. Frecuentemente se encuentra la granodiorita alterada. Su alteración puede ser de varias formas e intensidades:

El Batolito Apuela-Nanegal se presenta generalmente fracturado con 4 sistemas principales (y algunas otras secundarias) de juntas, variables según el lugar donde se

midan. Estos sistemas de fracturas presentan un espaciamiento promedio de 20 cm hasta 2 m. Según del grado de meteorización, en el sector del proyecto esta formación, forma lomas semi redondeadas, en partes escarpes abruptos cortados por una serie de drenajes generalmente en dirección N-S a NE-SW. Los afloramientos en los cauces de los ríos Guayllabamba, Intag, Alambí, Chalguayacu y en los drenajes menores, son materiales frescos, con alteración hidrotermal esporádica especialmente de piritización. En cambio, hacia las partes altas de los ríos los afloramientos evidencian un acelerado proceso de meteorización encontrándose zonas medianamente meteorizadas hasta completamente descompuestas, materiales que son visibles en varios de los afloramientos de la roca observados a lo largo de la carretera Saguangal-Selva Alegre.

La composición petrográfica del Batolito es variable, desde cuarzo diorita, diorita y granodiorita. En los afloramientos cercanos al río Guayllabamba, la composición mineralógica de la roca es de cuarzo, plagioclasas y biotita, pero hacia la parte superior de los afloramientos se evidencia la presencia de mayor cantidad de minerales máficos entre ellos la augita y la hornablenda. En los afloramientos del río Guayllabamba en el sector denominado los Charcos, la roca se presenta fresca con cristales de biotita grandes pero escasos con un porcentaje de cuarzo menor al 30%. Al parecer hacia la zona Occidental del proyecto los materiales son más ácidos, mientras que para la zona Este se evidencia una mayor presencia de minerales máficos.

- **Los depósitos laharíticos (lh):**

Los depósitos laharíticos, de edad plio-cuaternaria, representan, junto a los depósitos aluviales antiguos, la cobertura sedimentaria del Metamórfico de Chontal y del Batolito Apuela-Nanegal. Tienen un espesor variable entre algunos metros hasta algunas centenas de metros en las terrazas y se refieren a flujos de lodo que al parecer circularon a lo largo de los ríos Intag, Guayllabamba y Alambi. Estos depósitos en los afloramientos presentan espesores importantes formando paredes sub-verticales de hasta 200 m de altura, casos Villadora, terraza San Lorenzo, sector de la Hda. La Vega, Hda. El Milagro, varios afloramientos en el río Alambi y en el

sector de San Roque frente a la escuela Simón Bolívar y otros de menor potencia observados en los cortes de la nueva vía Sangagual-Selva Alegre.

Los lahares son depósitos volcánicos compuestos por clastos de diferente litología, predominantemente andesitas y también granodioritas, pizarras. Los cantos tienen dimensiones de 1 cm hasta 120 cm o mayores. La matriz en la cual están inmersos los cantos está constituida por cristales de cuarzo y biotita no redondeados de origen volcánico (ceniza), de color gris claro, con algunos cantos inferiores a 1 cm y naturaleza andesítica.

- **Los depósitos aluviales antiguos (paleocauce y terrazas) (Qac)**

Los depósitos aluviales, junto a los lahares, constituyen los sedimentos de cobertura del Metamórfico de Chontal y del Batolito Apuela-Nanegal, con espesores de algunos metros hasta algunas centenas de metros.

Los sedimentos aluviales son un depósito de clastos con cantos redondeados de 4-5 cm hasta 60-100 cm de variada naturaleza: granodioritas, cuarcitas, andesitas, rocas volcánicas varias, brechas, piedra pómez, etc.

La matriz es arenosa gruesa, con cantos de hasta 1 mm, amarilla a café, y tiene un bajo grado de cementación donde las paredes alcanzan entre 75-80° de pendiente hasta contra-pendientes. Localmente se encuentran lentillas de espesor métrico a plurimétrico, constituidas por arena bien seleccionada.

- **Los depósitos coluviales y eluviales (Qce)**

Los depósitos eluviales son el resultado de la meteorización de la roca in situ, formadas esencialmente por arcillas finas, limos y arenas. Los depósitos coluviales son el resultado de la alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores y bajo la acción de la gravedad. En el área de proyecto son reconocibles tres tipos diferentes de formaciones eluviales y coluviales, en función de su composición litológica:

- Eluviales de granodiorita;
- Coluviales de lahar;
- Aluviales de finos.

Los depósitos eluviales de granodiorita están constituidos por bloques redondeados de granodiorita, con tamaños métricos a plurimétricos en una matriz arcillosa. Estos depósitos afloran a lo largo del Río Chaguayacu en las dos laderas.

Los depósitos coluviales de lahar están constituidos por bloques angulares de diámetros variados de andesitas; raramente se encuentran cantos de granodiorita. La matriz es areno-limoso-arcillosa, a veces parcialmente cementada.

Los depósitos aluviales finos están constituidos por acumulaciones de sedimentos arcillosos, a veces limosos a microareníticos, generalmente alterados, de color amarillo a café. No conservan estructuras sedimentarias que, por el contrario, se pueden encontrar en los depósitos aluviales finos no alterados.

2.2.4 Tectónica y neo tectónica

El área de proyecto está caracterizada por grandes lineamentos morfológicos que muy probablemente corresponden a lineamentos tectónicos de importancia.

Las estructuras más evidentes tienen una orientación NE-SW, paralelas a la Cordillera de los Andes, y su lineamiento se muestra en la expresión morfológica de la orientación de los ríos, caracterizada por bruscos cambios de dirección, y de las crestas. Además de esto, también fueron reconocidas zonas de fallas de importancia regional con esta misma orientación, en particular a la altura del pueblo de Chontal, en San Roque y a la altura de la confluencia entre el río Guayllabamba y el río Alambí. De estas, la falla que se encuentra a la altura de San Roque desplaza el contacto intrusivo entre la granodiorita del Batolito Apuela-Nanegal y las pizarras del Metamórfico de Chontal. La mayoría de las fallas con orientación NE-SW generalmente presentan estrías, espejos, escalones, cataclasitas y milonitas que indican varias fases de movimiento a lo largo de las mismas fracturas.

No se han evidenciado rasgos neo tectónicos en la zona del proyecto, pese a la búsqueda realizada en afloramientos de rocas recientes. Sin embargo no hay que descartar que existan sistemas de falla jóvenes que pueden en algún momento generar sismos de magnitud importante.

Realizadas algunas investigaciones con los moradores del sector se conoce que la zona no es muy propensa a la ocurrencia de sismos de alta magnitud pero si se han generado pequeños sismos sobretodo en la zona de Apuela, que de alguna manera podrían vincularse a sistemas de falla recientes.

A estas estructuras están relacionadas algunas deformaciones menores que se encuentran en las rocas que afloran en este sector de la Cordillera. En particular en el Batolito Apuela-Nanegal se encuentran muy frecuentemente familias de juntas con orientación NE-SW y ángulos de buzamiento generalmente altos (60-90°) hacia NW o SE. En las pizarras de la Formación Macuchi se encuentra un paralelismo de las superficies de esquistosidad y las estructuras principales. Esta esquistosidad, con orientación NE-SW, presenta altos ángulos de inclinación ya sea hacia NW como hacia SE por efecto de ligeros plegamientos superficiales con ejes paralelos a las estructuras regionales (NE-SW).

Otro sistema de estructuras bien evidente es el NW-SE, también constituido por fallas de menor importancia, fracturas y rasgos morfológicos. Además existe un sistema de fracturas muy evidente con inclinaciones sub-horizontales que se desarrolla en el Batolito Apuela-Nanegal.

2.2.5 Sismo tectónica y sismicidad

La **falla de Apuela**, con orientación NE-SW, pone en contacto las rocas intrusivas de edad miocénica (Batolito Apuela-Nanegal) con las formaciones oceánicas Macuchi y Unacota a la altura de los valles de Apuela y del Río Intag. Esta falla se puede dividir en tres sectores, siendo los más cercanos al área de estudio el sector central y el sector meridional. El primero, está caracterizado por movimientos de cizalla dextral. De este sistema, no se conocen los tiempos de recurrencia pero los últimos desplazamientos son datados a menos de 1,6 Ma. El sector meridional también tiene

desplazamientos recientes (menos de 1,6 Ma) pero de este tramo no se conoce el tipo de movimiento.

La **zona de falla de Nanegalito** es una banda tectonizada de casi 1,5 km de ancho que se desarrolla con orientación NE-SW desde el Río Guayllabamba hacia el Norte, hasta el pueblo de Mindo, en el Sur. Esta estructura está caracterizada por movimientos de cizalla dextral y tiene un desplazamiento observable de casi 2 km a lo largo del río Alambi. Las últimas actividades de esta falla son datadas al Holoceno post glacial (menos de 1,5 Ma); no se conocen los tiempos de recurrencia de este tipo de desplazamiento. En el sector de Nanegalito, esta falla afecta el contacto entre el Batolito Apuela-Nanegal y las rocas cretácicas (Formación Macuchi) (Eguez et al., 2003).

La **falla El Cinto** es una zona de falla con orientación NW-SE constituida por superficies con movimientos de cizalla sinistral. Como las fallas ya descritas, esta también es datada al Cuaternario (menos de 1,6 Ma) pues afecta los depósitos volcánicos cuaternarios de los volcanes Pichincha y Atacazo.

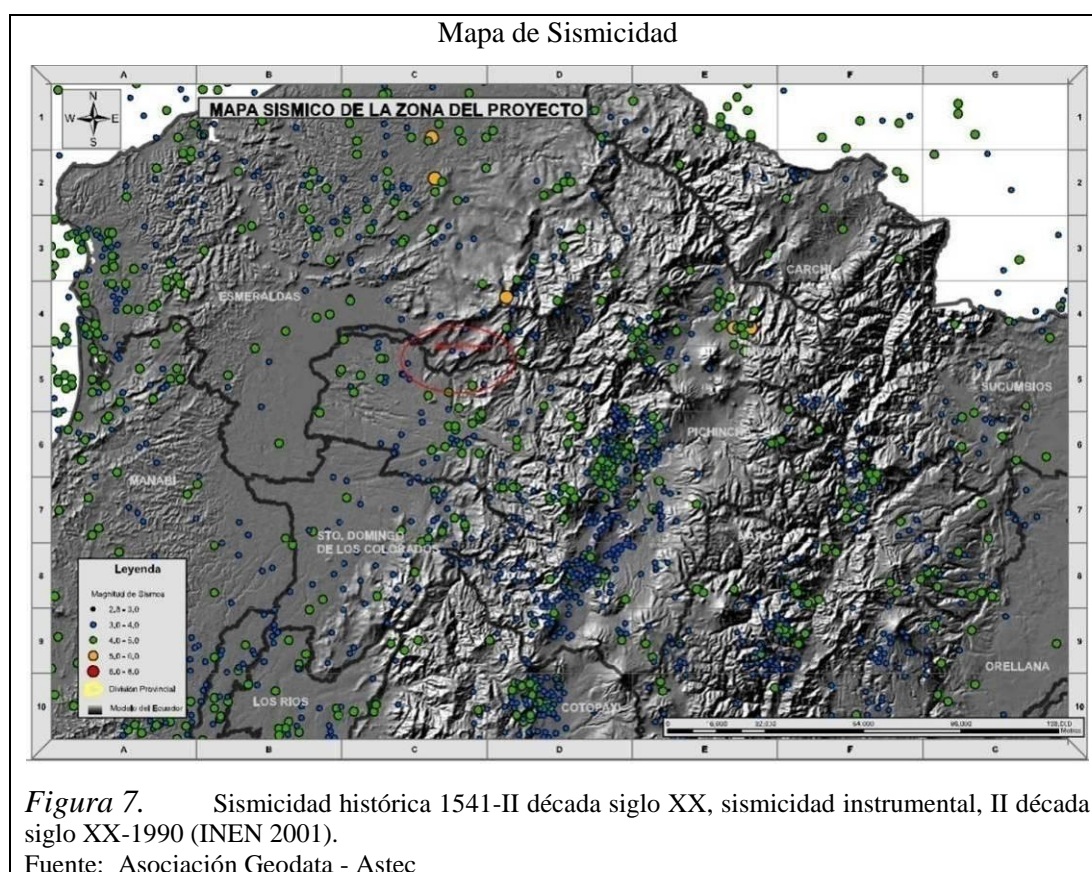


Esquema general del área de proyecto (en rojo); 25) falla del Río Alambi, 26) falla de Otavalo, 27) falla Billecocha-Huyrapungo, 28) falla de Apuela, 29) zona de falla

de Nanegalito, 30) falla El Cinto, 31) falla de Quito, 32) falla Tandapi, 33) falla de Papallacta, 34) falla del Río Baba (Eguez et al., 2003)

En particular, para la estrecha zona del proyecto no se han registrado epicentros de terremotos severos con magnitudes que superen los 4° de la escala de Richter.

Según el mapa de zonificación de riesgo sísmico del Ecuador que se incluye en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Requisitos Generales de Diseño: Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos y de cálculo para diseño sismo resistente), el proyecto se desarrolla en la zona III de las cuatro zonas que se adoptan en el país, desde I hasta IV, por lo que el valor del factor Z (valor de aceleración de la gravedad) a ser adoptado para la zona en cuestión es de 0,30 g.



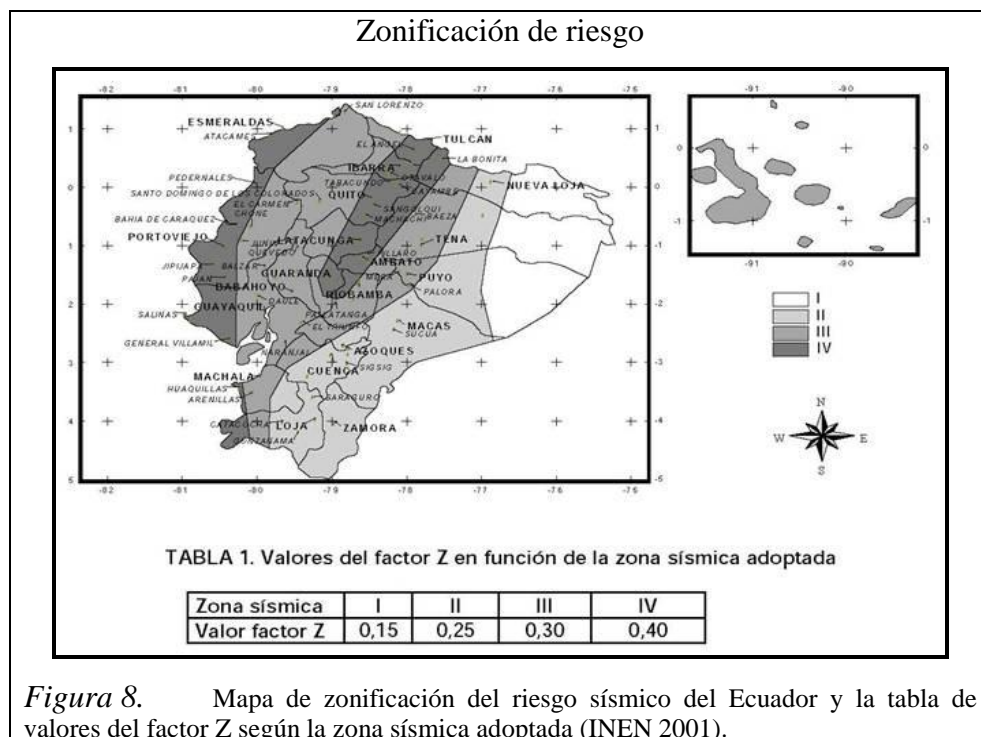


Figura 8. Mapa de zonificación del riesgo sísmico del Ecuador y la tabla de valores del factor Z según la zona sísmica adoptada (INEN 2001).

2.2.6 Mapeo geológico y el perfil geológico del túnel de desvío

El levantamiento geológico fue hecho en escala 1:1000 en el sector del Túnel de Desvío y en el sector de la presa. Las estructuras en la margen izquierda del sitio de la presa fueron levantadas con cuidado, pues podrían afectar el comportamiento de las formaciones geológicas en el túnel. Un gran número de medidas de discontinuidades fue tomado a lo largo del eje del túnel y presentado en el mapeo geológico. Además se realizó un levantamiento más detallado en la ladera afectada por el Túnel de Desvío en los afloramientos donde la roca está expuesta con sus discontinuidades y fallas.

2.2.7 Análisis estadísticos de las discontinuidades (diaclasas y fallas) de macizo rocoso

En el área del Túnel de Desvío fueron hechos medidas y procesamientos estadísticos de las discontinuidades. En particular, fueron elegidas áreas de importancia mayor debido a sus ubicaciones en sectores críticos de la obra (los dos portales) y también en estos sitios fueron tomadas las medidas de discontinuidades.

Diagramas estructurales

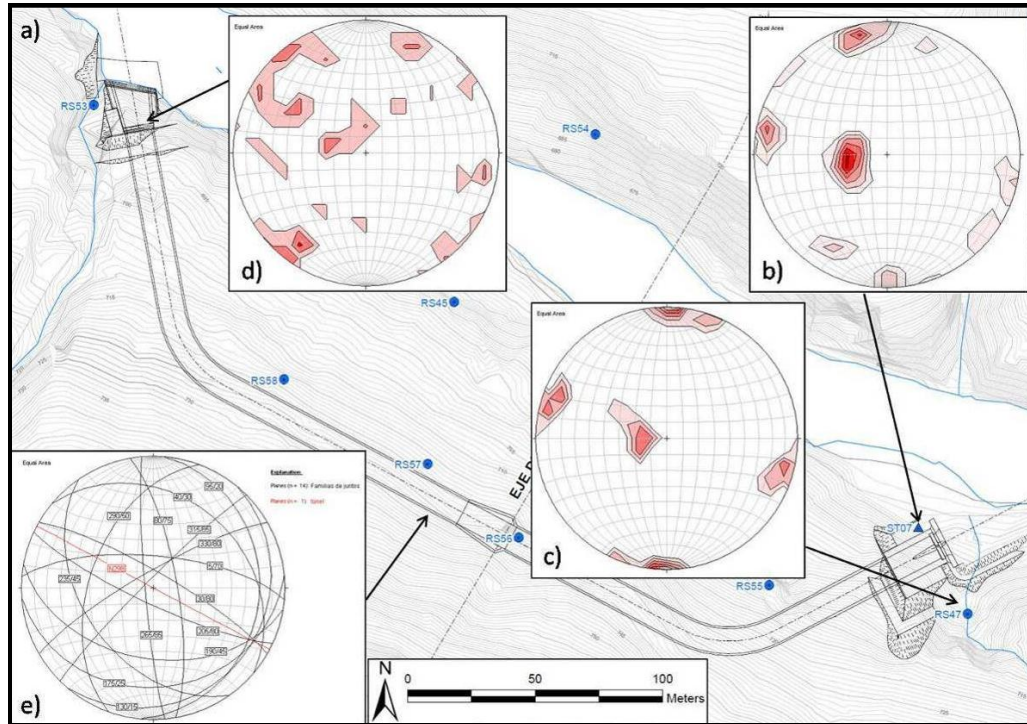


Figura 9. (b y c,) Localización de diagramas estructurales del portal Este con estudio estadístico e identificación de las principales familias de fracturas; d) diagramas estructurales del portal Oeste con estudio estadístico e identificación de las principales familias de fracturas; e) diagrama estructural con las familias de juntas principales y secundarias que se encuentran en el tramo central de Túnel de Desvío.

Fuente: Asociación Geodata - Astec

Los datos de buzamiento y azimuth del buzamiento de las fracturas fueron también analizados con diagramas estructurales que permiten evidenciar la presencia y la repetición de las familias principales en cada afloramiento o por sectores geológicamente homogéneos o de mayor importancia para la obra en estudio. Al final fueron producidos tres diagramas estructurales de frecuencia de las discontinuidades, en el sector de la entrada del túnel y a la altura de la salida, y un diagrama estructural con los principales planos de discontinuidades en el sector central de la obra.

2.2.8 Investigación geofísica con el método de sismica de refracción

El método de Sísmica de Refracción se utilizó para determinar los contactos sean éstos horizontales, inclinados, ondulados o verticales entre los diferentes estratos geológicos que presentan velocidades sísmicas diferentes. Dichos estratos varían en

sus propiedades físicas debido a su textura y compactación dando como resultado un cambio en la velocidad sísmica de los materiales, posibilitando de esta manera la determinación de dichos contactos, siempre que se produce el fenómeno de la refracción, que constituye el principio del método.

La campaña de investigación geofísica a lo largo del Túnel de Desvío, mediante sísmica de refracción, consistió de los siguientes perfiles sísmicos

Tabla 9. *Características técnicas de los perfiles sísmicos realizados, incluidos en el área de interés del túnel*

Perfil Sísmico	Longitud (m)	Separación entre geófonos (m)
LS-3	110	10
LS-4	110	10
LS-5	90	10
LS-6	70	10
LS-7	90	10
LS-8	40	5
LS-9	25	5
LS-10	25	5

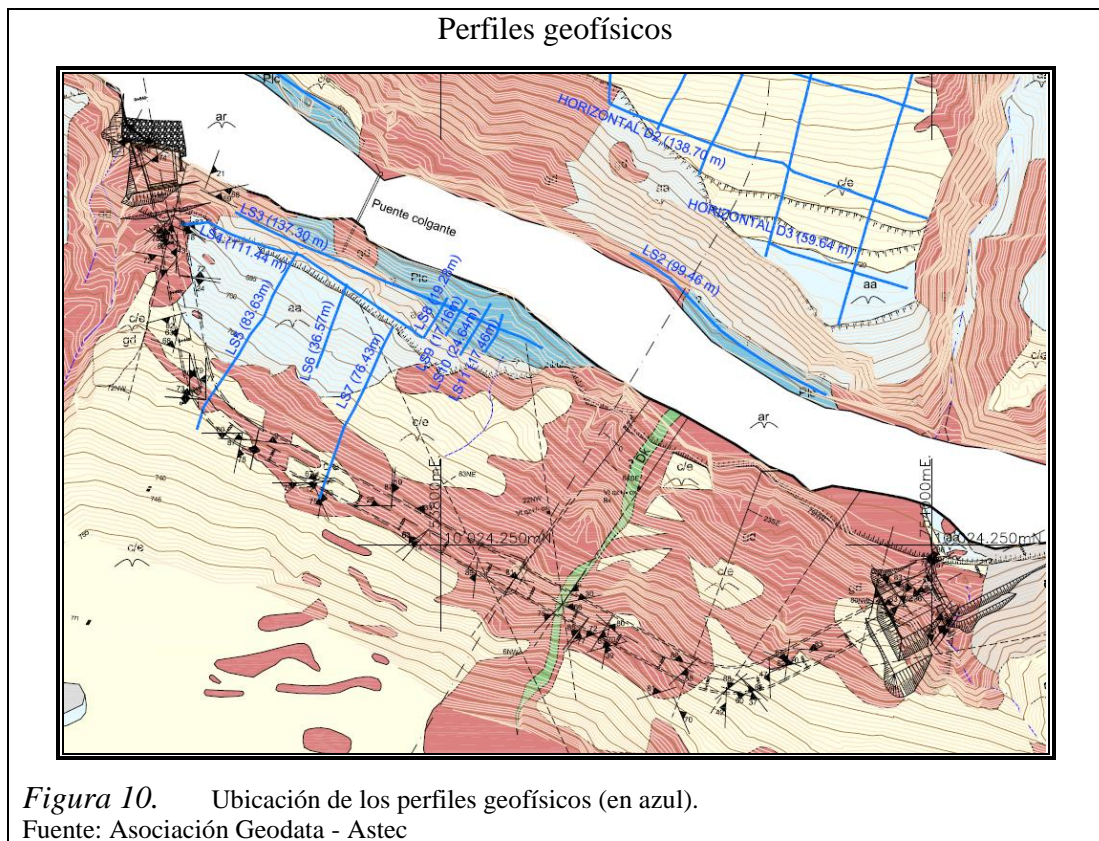
Nota: Asociación Geodata - Astec

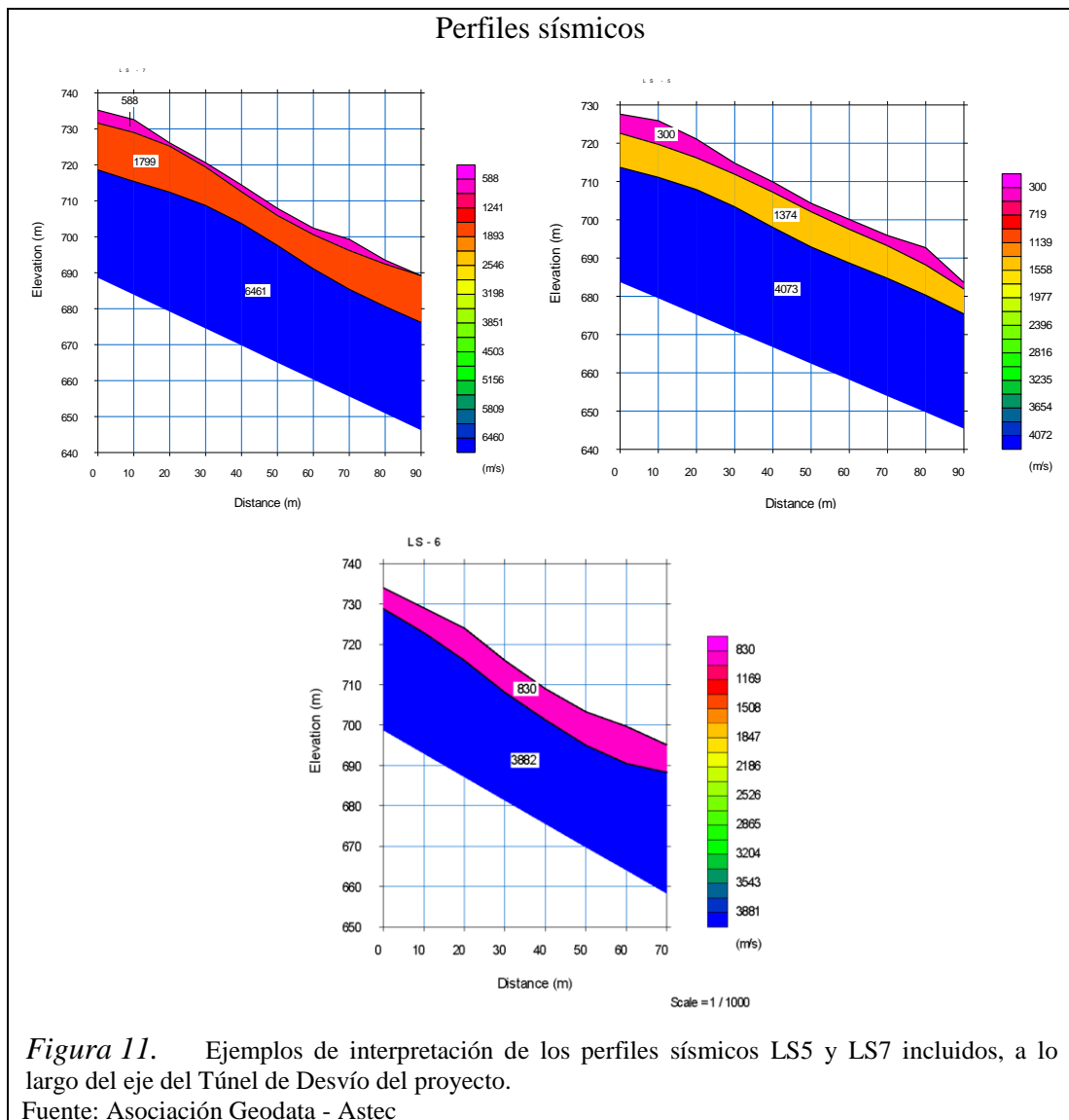
Los perfiles LS-3 y LS-4 son paralelos al río, mientras que los perfiles L-5 a L-10 son aproximadamente perpendiculares al mismo. El perfil LS-4, está cruzado por los perfiles L-5 a L-7 y se ubican en la parte alta de un escarpe, mientras que el perfil L-3 en su extremo derecho es cortado por los perfiles LS-8 a LS-10 y se ubican en un pequeño callejón entre el escarpe y la orilla del río. Sobre los perfiles de la parte alta se obtuvieron los siguientes resultados:

- Presencia de un primer medio de velocidad entre 300 m/s y 588 m/s con profundidades que varían entre 1 m y más o menos 10 m, el mismo que estaría relacionado con el suelo de cobertura y capa vegetal.
- Una segunda capa caracterizada por una velocidad entre 830 m/s y 1799 m/s, con espesores entre 4m y 12m, la que podría corresponder a materiales producto de la meteorización fuerte de la roca.
- Un tercer horizonte con una velocidad entre 3882 m/s y 6461 m/s, característica de rocas sanas.

En los perfiles del sector inferior se obtuvo:

- Presencia de dos medios de velocidad diferente, el primero delgado con velocidades entre 300 m/s y 709 m/s, correspondiente a la capa vegetal o suelo de cobertura con profundidades entre 1 m y 4 m.
- Un segundo horizonte con velocidades entre 4238 m/s a 4718 m/s que correspondería al manto rocoso sano y masivo; sin embargo, en el perfil LS-8 este medio se presenta con una velocidad de 1930 m/s probablemente causados por los cambios en topografía.





2.2.9 Sondeos mecánicos

Los sondeos que se encuentran dentro del área del proyecto son: BCPR-11 en el sector del portal de entrada, BCPR-9 poco aguas abajo del tapón y BCPR-12 en la porción oriental del Túnel de Desvío.

A continuación son descritos los resultados de los tres sondeos en el eje del túnel en términos de litología, grados de fracturación y meteorización y permeabilidades.

BCPR-11

Este sondeo está ubicado en la orilla izquierda del río Guayllabamba, en el sector del portal de entrada del Túnel de Desvío, a la cota 695,08 m.s.n.m. Alcanzó una profundidad de 40.00 m.

Respetando la secuencia encontrada en la perforación se tiene lo siguiente:

De 0.00 a 2.70m se encontró Depósito Aluvial compuesta por:

- **Arena (0.00 – 0.70 m);** De grano fino a grueso, mal gradada, de color marrón con poca presencia de matriz limosa, con dilatación rápida, y húmeda.
- **Aluvial (0.70 – 2.70 m);** Finos (40%): Arena gris de grano fino a grueso, esporádica gravilla, con dilatancia rápida, y húmeda. Gruesos (60%): Gravas (36%) de 0.5 a 6 cm predominan las de 2 a 3 cm, de formas subredondeadas a subangulosas, de diferente composición. Guijos (6%) de 13 cm. Bloques (18%) de 36 cm.

De 2.70 a 40.00 m Roca Ígnea compuesta por:

- **Cuarzo - Diorita (2.70 – 10.00 m);** Roca blanca, moteada de colores oscuros, contiene plagioclasas, feldespatos, cuarzos, horblendas, micas, anfíboles. Roca muy dura, ligeramente meteorizada a fresca, sin fracturas a fracturada. Fracturas tipo: contacto y juntas, de forma planar y escala, paredes ligeramente rugosas a muy rugosas, rellenas de óxidos, roca triturada, arena, y gravas.
- **Cuarzo – Diorita (10.00 – 20.00 m), (20.00 – 30.00 m), (30.00 – 40.00 m);** Roca blanca, moteada de colores oscuros, contiene plagioclasas, feldespatos, cuarzos, horblendas, micas, anfíboles. Roca muy dura a extremadamente dura, fresca, muy fracturada a sin fracturas, fracturas tipo: juntas y vetas, de formas planar, irregular y ondulada; con paredes ligeramente rugosas a rugosas, rellenas de cuarzo, carbonatos, clorita, roca triturada y limpias.

En todo el tramo perforado, la recuperación varía de Regular a Excelente, predominando la clase Excelente.

La roca varía de roca fresca a medianamente meteorizada, con predominio de la roca fresca.

Las fracturas varían entre la roca sana a muy fracturada, predominando los valores de roca sana.

El espaciamiento entre fracturas está dentro de las clases calificadas como Muy Amplia a Muy estrecha, predomina la clase que se califica como Amplio.

El nivel freático mínimo y máximo corresponde a 4.10 m y 11.70 m respectivamente.

BCPR-9

Este pozo se encuentra en la orilla izquierda del río Guayllabamba, en la cota 718,752 msnm. Alcanzó una profundidad de 100.00 m.

Todo el sondeo BCPR - 9, atravesó por Roca Ígnea. Respetando la secuencia encontrada se tiene lo siguiente:

De 0.00 a 100.00 m Roca Ígnea

- **Roca Meteorizada (0.00 – 2.27 m);** Arena de grano fino a grueso, de color marrón amarillento, presenta gran cantidad de cristales.
- **Cuarzo - Diorita (2.27 – 10.00 m);** Color blanco, moteada de colores oscuros con tonalidades amarillentas, debido a la oxidación, contiene plagioclasas, feldspatos, cuarzo, micas, presenta intercalaciones con granodiorita evidenciado por la menor presencia de máficos. Roca suave a muy dura, completa a ligeramente meteorizada, fragmentada. Fracturas tipo juntas, cizalla y vetas, de formas planas, irregulares y escalonadas; paredes muy rugosas a rugosas rellenas de: óxidos, roca triturada, grava o arena. Zona de cizallamiento de 5.94 a 6.80 m.

- **Cuarzo - Diorita (10.00 – 20.00 m);** Color blanco, moteada de colores oscuros con tonalidades amarillentas, debido a la oxidación, contiene plagioclasas, feldespatos, micas y horblendas con presencia de vetillas de cuarzo de escasa tonalidad marrón. Presencia de microgranito de color gris azulado de 12.93 a 13.20 m, roca dura a extremadamente dura, mediana a ligeramente meteorizada, fracturada y en tramos fragmentada y hasta sin fracturas; fracturas tipo junta, contacto, veta, cizalla, de forma planar, irregular, escalonada y ondulada, paredes suaves a muy rugosas rellenas de: cuarzo, roca triturada, gravas, arena, carbonato clorita, sulfuros, óxidos o epidota
- **Cuarzo - Diorita (20.00 – 30.00 m);** Color blanco, moteada de colores oscuros debido a los máficos, contiene plagioclasas, feldespatos, cuarzo, micas, horblendas, vetillas de cuarzo y carbonato, además de intercalaciones de granodiorita debido a la ausencia de máficos. Roca dura a muy dura, ligera a completamente meteorizada, muy fracturada a fracturada, en tramos no existe recuperación por lo que se toma a la roca como fragmentada, fracturas tipo junta, de formas planar, irregular, escalonada y ondulada, paredes muy rugosas a ligeramente rugosas rellenas de: roca triturada, gravas, cuarzo, arena óxidos, clorita, arcillas o limpias
- **Cuarzo - Diorita (30.00 – 40.00 m), (40.00 – 50.00 m);** Roca muy dura a extremadamente dura, ligeramente meteorizada a fresca, muy fracturada a sin fracturas, fracturas tipo juntas, vetas de formas planar, irregular, escalonada y ondulada, paredes ligeramente rugosas a muy rugosas, rellenas de cuarzo, carbonato, roca triturada, clorita o limpias.
- **Cuarzo - Diorita (50.00 – 60.00 m);** Roca muy dura a extremadamente dura, fresca, fracturada a sin fracturas, fracturas tipo juntas y vetas, de forma planar y escalonada, paredes muy rugosas a ligeramente rugosas, rellenas de carbonatos, cuarzo, roca triturada, sulfuros, epidotas o limpias.
- **Cuarzo - Diorita (60.00 – 70.00 m), (70.00 – 80.00 m);** Color blanco, moteada de colores oscuros debido a los máficos, contiene plagioclasas, feldespatos, cuarzo, micas, horblendas, vetillas de cuarzo y carbonato, además de lentes de microgranito. Roca muy dura a extremadamente dura, fresca, sin fracturas a fracturada, fracturas tipo juntas y vetas, de forma planar, paredes ligeramente rugosas a muy rugosas rellenas de cuarzo, carbonato, clorita o limpias.

- **Cuarzo - Diorita (80.00 – 90.00 m);** Roca muy dura a extremadamente dura, fresca, sin fracturas a fracturada, fracturas tipo vetas y juntas, de forma planar y ondulada, paredes ligeramente rugosas a rugosas, rellenas de: carbonatos, cuarzo, roca triturada o sulfuros.
- **Cuarzo - Diorita (90.00 – 93.28 m);** Roca muy dura a extremadamente dura, fresca, fracturada, fracturas tipo juntas y vetas, de forma plana y escalonada, paredes ligeramente rugosas a rugosas, rellenas de carbonatos, cuarzo, sericitas o limpias.
- **Cuarzo - Diorita (93.28 – 96.80 m);** Con alteraciones de carbonatos y sericitas, presenta una coloración blanca verdosa a azulada opaca. Roca de dureza media a dura, fresca, fracturada, fracturas tipo juntas, de forma planar, paredes suaves, ligeramente rugosas, rellenas de carbonato, sericita, micas o cuarzo.
- **Cuarzo - Diorita (96.80 – 100.00 m);** Color blanco, moteada de colores oscuros debido a los máficos, contiene plagioclasas, feldespatos, cuarzo, horblendas, micas y máficos. Roca muy dura a extremadamente dura, fresca, fracturada a sin fracturas; fracturas tipo juntas y vetas, de forma planar, escalonada y ondulada, paredes ligeramente rugosas a rugosas rellenas de cuarzo, carbonato, clorita o roca triturada.

En todo el tramo perforado, la recuperación varía de Excelente a Regular, predominando la clase Excelente.

La roca varía de roca fresca a completamente meteorizada, con predominio de la clase roca fresca.

Las fracturas varían entre las clases roca sana a muy fracturada, predominando los valores de fracturada. El espaciamiento entre fracturas está dentro de las clases calificadas como Muy Amplia a Muy estrecha, predomina la clase que se califica como Moderada.

El nivel freático mínimo y máximo corresponde a 2.80 m y 6.20 m respectivamente.

BCPR-12

Este sondeo está ubicado en la orilla izquierda del río Guayllabamba, en la cota 716,20 msnm. Alcanzó una profundidad de 70,00 m.

El sondeo BCPR - 12, atravesó Suelo y Rocas Ígneas. Respetando la secuencia encontrada en la perforación se tiene lo siguiente:

De 0.00 – 0.70 m Suelo

- **Limo Arenoso (0.00 – 0.70 m);** Color marrón oscuro, arena de grano fino a grueso, presenta gravilla y poca materia orgánica (raíces). Dilatación rápida, plasticidad nula, tenacidad nula, húmeda.

De 0.70 – 70.00 m Roca Ígnea

- **Roca Meteorizada (0.70 – 4.65 m);** Arena de color verde amarillenta, de grano fino a grueso, presenta pequeñas gravas de dioritas altamente meteorizadas; deleznales a la rotación.
- **Cuarzo - Diorita (4.65 – 10.00 m);** Con intercalaciones de granodiorita, de color blanca con tonalidades oscuras, presenta tonalidades amarillas, debido a la meteorización, contiene feldespatos, plagioclasas, cuarzo, micas, horblendas, sulfuros y máficos. Roca de dureza media a dura, completa a ligeramente meteorizada; extremadamente fracturada a fracturada. Fracturas tipo contacto, juntas; de forma planar, ondulada, escalonada e irregular con paredes ligeramente rugosas a muy rugosas con rellenos de cuarzo, carbonatos, óxidos, arena, arcillas, roca triturada, clorita y micas.
- **Cuarzo - Diorita (10.00 – 20.00 m);** Con intercalaciones de granodiorita, de color blanco moteado de colores oscuros debido a los máficos. Roca dura a muy dura, muy fracturada a sin fracturas, ligeramente meteorizada a fresca. Fracturas tipo juntas de forma planar y ondulada con paredes ligeramente rugosas a muy rugosas rellenas con rellenos de óxidos, cuarzo, carbonatos, roca triturada y limpias.

- **Cuarzo - Diorita (20.00 – 30.00 m);** Con intercalaciones de granodiorita, de color blanco moteado de colores oscuros debido a los máficos. De 27.96 a 29.35m zona medianamente meteorizada con presencia de gravas del mismo material. Roca dura a extremadamente dura, fresca a medianamente meteorizada, fracturada. Fracturas tipo juntas, de forma planar, ondulada, escalonada e irregular; paredes ligeramente rugosas a muy rugosas; con rellenos de óxidos, cuarzo, clorita, carbonatos, gravas y limpias.
- **Cuarzo - Diorita (30.00 – 40.00 m);** Con intercalaciones de granodiorita, de color blanco moteado de colores oscuros debido a los máficos. Roca muy dura a extremadamente dura, fresca, de fracturada a sin fracturas. Fracturas tipo juntas, de forma planar y onduladas, paredes ligeramente rugosas a muy rugosas; con rellenos de óxidos, carbonatos, cuarzo, arena, sulfuros, micas, gravas y clorita con.
- **Cuarzo - Diorita (40.00 – 50.00 m);** Con intercalaciones de granodiorita, de color blanco moteado de colores oscuros debido a los máficos. Roca muy dura a extremadamente dura, fresca, fracturada a sin fracturas. Fracturas tipo juntas, de forma planar y onduladas, paredes ligeramente rugosas a muy rugosas; rellenos de roca triturada, cuarzo, cloritas y limpias.
- **Cuarzo - Diorita (50.00 – 59.83 m);** Con intercalaciones de granodiorita, de color blanco moteado de colores oscuros debido a los máficos. De 52.00 a 53.12 tramo de roca fragmentada. Roca muy dura a extremadamente dura, fragmentada a sin fracturas, fresca. Fracturas tipo juntas, vetas; de forma planar, escalonada e irregular; con paredes ligeramente rugosas a muy rugosas; rellenas de cuarzo, clorita y limpias.
- **Microgranodiorita (59.83 – 60.60 m);** De color azul blanquecino, presenta una granulometría muy fina, contiene cuarzo, feldespatos, horblendas, olivinos, máficos y gran cantidad de carbonatos. Roca muy dura, fresca, fracturada. Fracturas tipo juntas, de forma planar y onduladas; con paredes suaves a rugosas.
- **Cuarzo - Diorita (60.60 – 70.00 m);** Roca muy dura a extremadamente dura, fresca; fracturada a sin fracturas. Fracturas tipo juntas; de forma planar, ondulada, con paredes ligeramente rugosas a rugosas.

En todo el tramo perforado, la recuperación varía de Regular a Excelente, predominando la clase Excelente.

La roca varía de roca fresca a completamente meteorizada, con predominio de la clase roca fresca.

Las fracturas varían entre las clases roca sana a fragmentada, predominando los valores de fracturada.

El espaciamiento entre fracturas está dentro de las clases calificadas como Muy Amplia a Muy Estrecha, predomina la clase que se califica como Moderada.

El nivel freático mínimo y máximo corresponde a 8.00 m y 17.05 m respectivamente.

De acuerdo a las características de los macizos que se encontraron en la zona del proyecto se puede concluir que el lugar elegido para la construcción del túnel de desvío es el adecuado aunque exista la presencia de fallas estas no influirán en la construcción del túnel debido a la buena calidad del material que se encuentra en el lugar de proyecto.

2.2.10 Clasificación geomecánica

Para la clasificación geomecánica de los macizos rocosos se usaron varios tipos de sistemas de clasificación, en particular:

GSI – Geological Strength Index, Hoek et al. (1995)

El sistema GSI es, usualmente, utilizado como un índice geoestructural (“Fabric Index” según Tzamos & Sofianos, 2007) que permite la obtención de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de las propiedades de la roca intacta. El valor de GSI es calculado, ya sea mediante la aplicación del método cualitativo propuesto por Hoek et al. (1995), como también aplicando el método cuantitativo (Russo, 2007 – a y b); el cual toma como parámetro para su cálculo el “Joint

Parameter” (JP) proveniente del sistema de clasificación denominado “Rock Mass Index (RMI system Palmstrøm, 1996)”.

A continuación se presenta los dos métodos de cálculo del GSI propuestos:

$$\mathbf{RMI} \rightarrow \sigma_{cm} = \sigma_c * JP$$

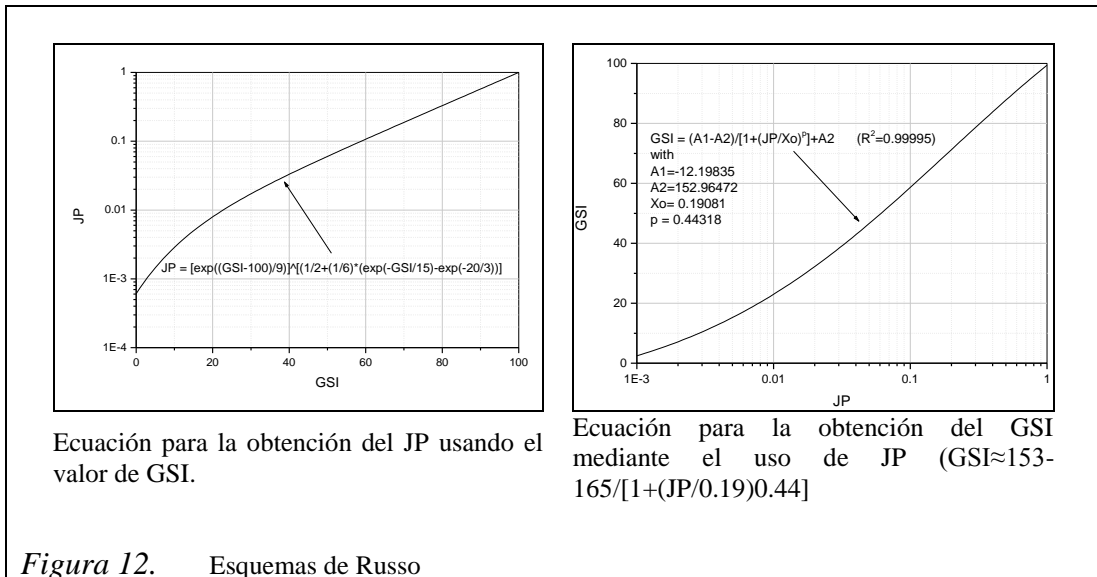
$$\mathbf{GSI} \rightarrow \sigma_{cm} = \sigma_c * s * a$$

Donde:

σ_{cm} y σ_c = son respectivamente la resistencia a compresión mono axial del macizo rocoso y de la roca intacta

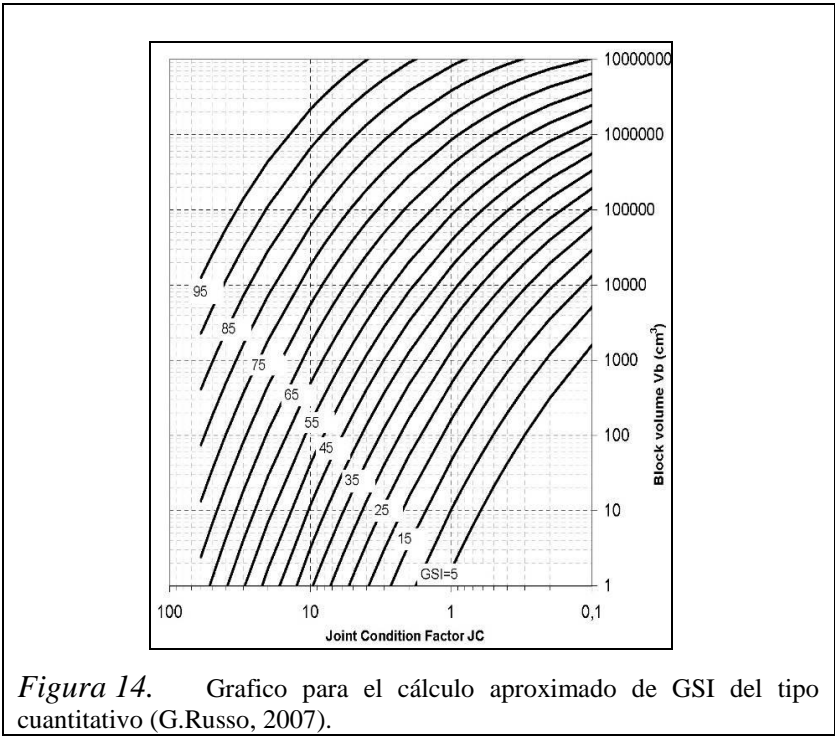
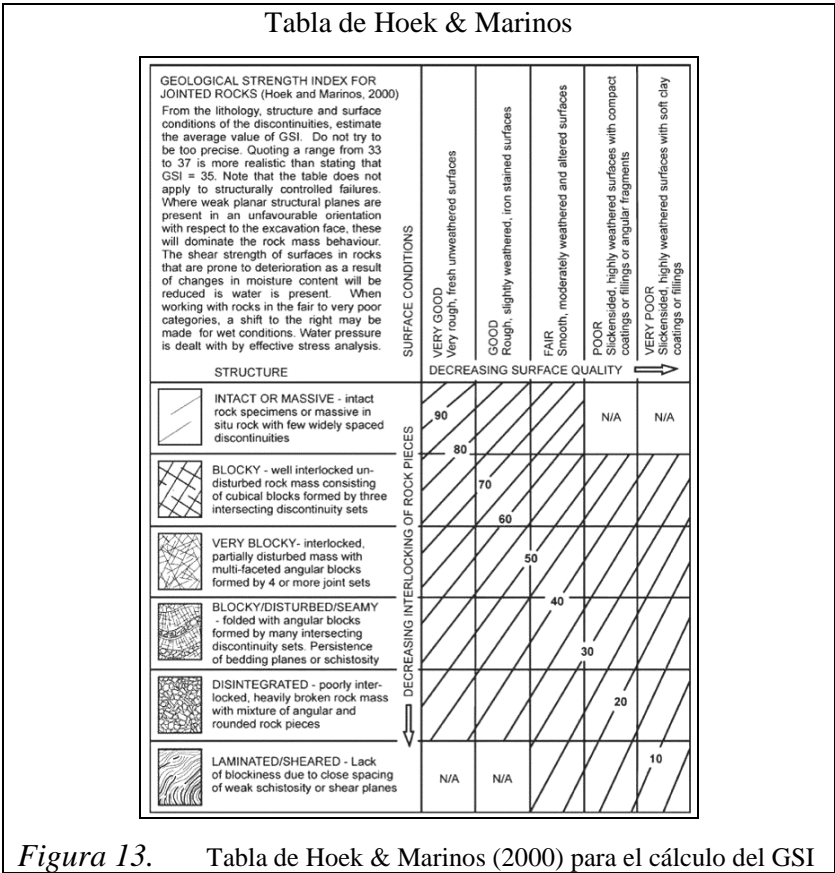
JP = “Joint Parameter”

s, a = son las constantes de Hoek & Brown (1995), obtenidas en función del GSI en la ecuación propuesta por Hoek et al. (2002). De las ecuaciones anteriormente descritas resulta posible obtener la relación entre JP y las constantes “s” y “a”; y por tanto, entre JP y GSI, la cual se describe en la siguiente Figura (Russo, 2007).



Considerando la relación anteriormente descrita resulta posible obtener el siguiente gráfico, el cual permite el cálculo del valor de GSI de un macizo rocoso tomando como parámetros iniciales los mismos que son necesarios para el cálculo del JP: el volumen unitario de los bloques de rocas (Vb) y la condición de las discontinuidades (Joint Condition Factor, jC). jC que a su vez depende de la rugosidad de las diaclasas

jR, de la alteración y material de relleno en las discontinuidades jA, así como de la persistencia de las discontinuidades jL. Es decir, $jC=jR*jL / jA$.



RMR – Rock Mass Rating, Bieniawski (1973)

El índice RMR (Bieniawski, 1973) se define como la suma de diversos coeficientes numéricos asociados a la evaluación de las siguientes características geoestructurales y geomecánicas del macizo rocoso.

$$\mathbf{RMR} = r1 + r2 + r3 + r4 + r5 + r6$$

- **r1** → resistencia a la compresión mono axial de la roca intacta;
- **r2** → RQD (Rock Quality Designation);
- **r3** → espaciamiento de las discontinuidades;
- **r4** → condición de las discontinuidades: persistencia, abertura, rugosidad, relleno y alteración;
- **r5** → condición hidráulica;
- **r6** → orientación de las discontinuidades respecto a la dirección de excavación.

Para cada parámetro viene asignado un valor los cuales se presentarán mediante tablas y/o diagramas (Bieniawski, 1989). En función del valor de RMR obtenido, 5 tipología de clases son definidas, las cuales describen el comportamiento en fase de excavación del macizo rocoso, sobre todo en términos de estabilidad, desde óptimo (Clase I) a muy pobre (Clase V).

Tabla 10. *Clasificación de los macizos rocosos en base al índice RMR*

ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS					
Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21
Class number	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock
MEANING OF ROCK CLASSES					
Class number	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Nota: extraído de la tabla de Bieniawski (1989) con indicaciones para cada clase de la calidad del macizo, de la cohesión, del ángulo de fricción y del tiempo de autosostenimiento.

De acuerdo a Tzamos & Sofianos (2007), la suma de los parámetros r2, r3, y r4 forman la componente geoestructural del índice geomecánico (“Fabric Index”) resultando, por tanto, equivalente al GSI. Particularmente, siendo los máximos

valores de $(r_2 + r_3 + r_4)$ y de GSI respectivamente iguales a 70 y 100, se puede concluir que la suma de estos tres parámetros es igual al 70% del valor de GSI.

Tomando en cuenta, de igual forma, el valor mínimo de la suma de los tres parámetros, se obtiene que $(r_2+r_3+r_4) \approx 0.65*GSI+5$. Considerando esta relación, ha sido posible obtener una aproximación de los valores de RMR más probables correspondientes a diversos grupos geomecánicos; sumando los valores respectivos a los otros parámetros, se obtiene que:

$$\mathbf{RMR} \approx 0.65 * \mathbf{GSI} + 5 + (r_1+r_5+r_6)$$

Grado de meteorización de los macizos rocosos

El resultado típico de la meteorización de una litología ácida es un arena limosa. En el área de proyecto se encuentran varios macizos rocosos sean estos volcánicos o intrusivos que presentan perfiles de meteorización de varias decenas de metros.

El clásico esquema de perfiles de meteorización a capas concéntrica con el grado de meteorización que decrece desde la superficie hacia la profundidad, no se puede aplicar en un contexto real como en este caso. Los sondeos que se hicieron en la ladera derecha del río Guayllabamba muestran que, después de una capa de depósitos eluvio-coluviales y/o aluviales, hay un tramo de pocos metros a lo largo del cual la roca se encuentra fracturada y ligeramente meteorizada; bajo de este sector se encuentra una roca siempre menos meteorizada hasta fresca y muy poco fracturada.

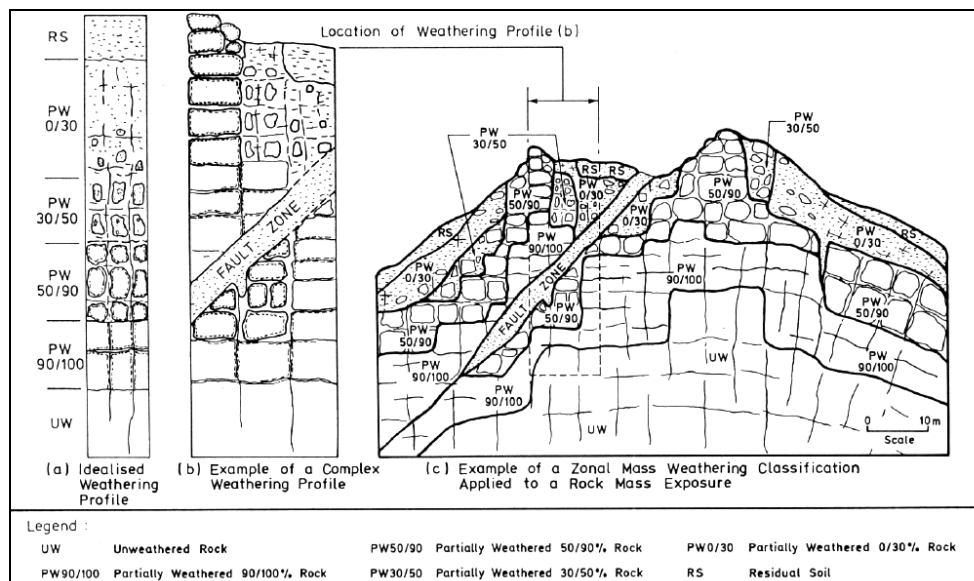
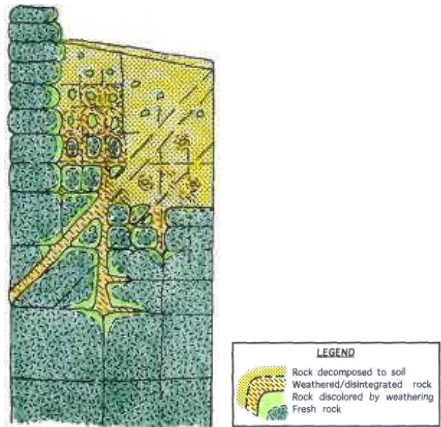


Figura 15. Esquema del perfil de meteorización de los macizos rocosos (Geotechnical Control Office. Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 1988 - Guide to rock and soil description).

Es más cerca a la realidad imaginarse una meteorización desarrollada en forma compleja que se profundiza a lo largo de sectores altamente fracturados y/o fallados. Esta meteorización, que puede alcanzar elevadas profundidades, representa un aspecto relevante para las obras y se puede encontrar relacionada a los aspectos geomorfológicos.

El esquema anteriormente descrito de la *Geotechnical Control Office. Civil Engineering Services Department, Hong Kong, (1988) Guide to rock and soil description*, ha sido comparado con el de clasificación propuesta de la *Geological Society of London (GSL, 1995)*, de la cual dichos resultados son mostrados a continuación.

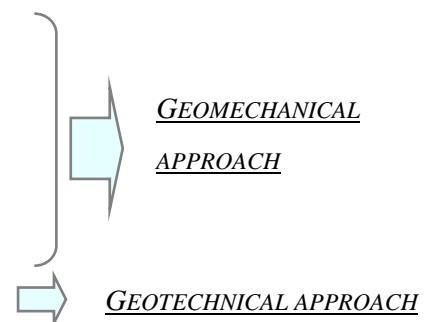
Tabla 11. Clasificación de alteración

GRADO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS	ESQUEMA
W1	Fresca	Ninguna modificación respecto al estado original.	
W2	Poco alterada	Ligera decoloración y debilidad.	
W3	Moderadamente alterada	Bastante debilidad, decoloración penetrante. Por otra parte no puede ser rota con la mano.	
W4	Muy alterada	Por otra parte puede ser rota con la mano. No se disgrega fácilmente cuando una muestra seca se sumerge en agua.	
W5	Completamente alterada	Elevada debilidad. Se disgrega en agua. La textura original de la roca es todavía evidente.	
W6	Suelo residual	Suelo derivado de la alteración in situ, ha perdido la textura y estructura original de roca.	

Nota: GSL - Geological Society of London, 1995

Comparando los dos tipos de clasificación relativos al grado de meteorización de los macizos rocosos, se puede llegar a la siguiente conclusión:

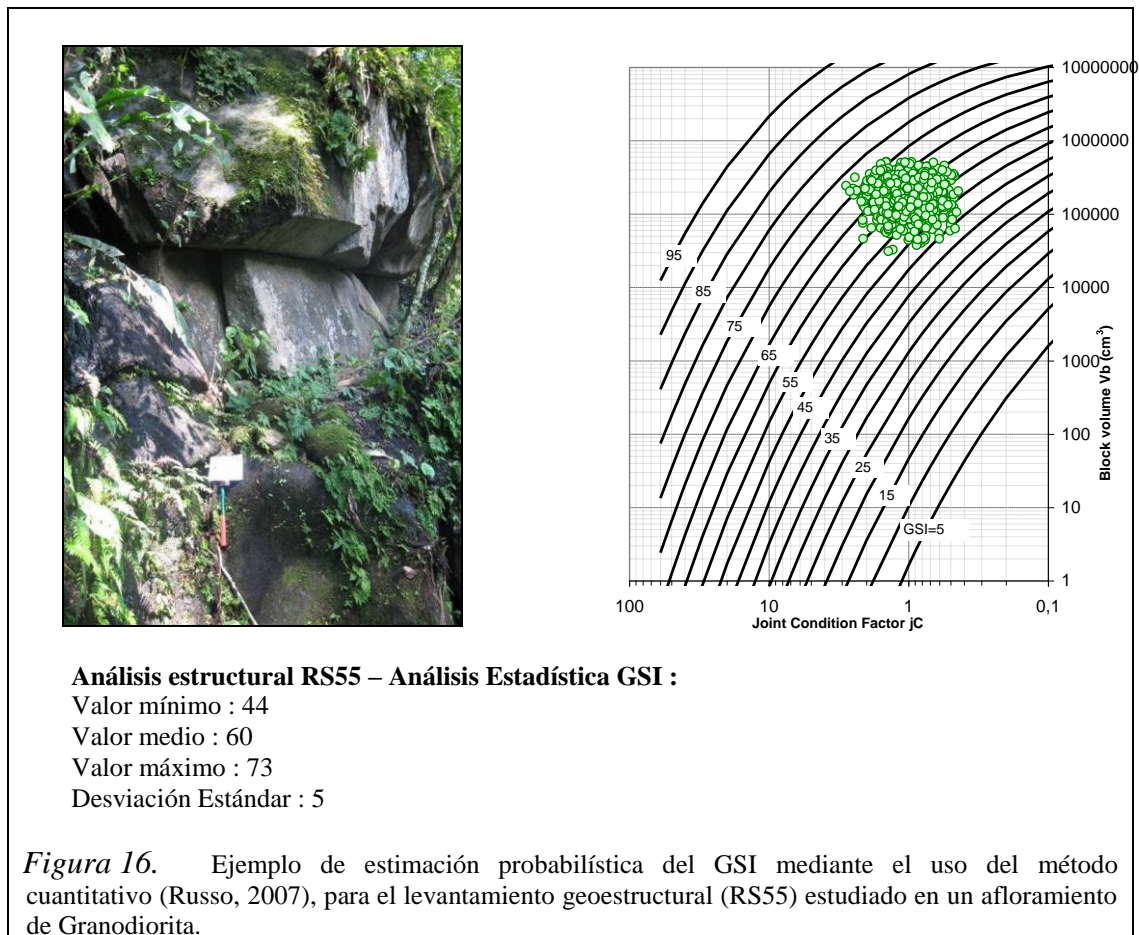
- **W1** → UW (*Unweathered Rock*);
- **W2** → PW 90/100 - *Partially Weathered* (90/100% Rock);
- **W3** → PW 50/90 - *Partially Weathered* (50/90% Rock);
- **W4** → PW 30/50 - *Partially Weathered* (30/50% Rock);
- **W5** → PW 0/30 - *Partially Weathered* (0/30% Rock);
- **W6** → RS (*Residual Soil*).



2.2.11 Resultados del proceso de clasificación geomecánica

Para la clasificación geomecánica de los macizos rocosos se utilizaron los métodos de análisis probabilística, para tener en cuenta la variabilidad de los parámetros iniciales derivados del estudio geológico. Se presenta un ejemplo de tal representación gráfica, relativa al relieve geo-estructural RS55 (a lo largo del Túnel de Desvío), en la cual se puede observar:

- La nube de puntos que representan los valores de GSI calculados para las posibles combinaciones de los parámetros iniciales (n. 1000 simulaciones);
- La tabla resume los valores estadísticos relativos al GSI en cada afloramiento estudiado.



Por cada unidad litológica analizada y de interés para el túnel de desvío, se calcularon estadísticamente los valores de GSI (obtenidos del análisis de probabilidad) de cada levantamiento geoestructural, en forma de diagramas de variabilidad de frecuencia. Además, utilizando los parámetros estadísticos (valor medio y desviación estándar) se pudo obtener diversos campos de variabilidad en términos de Grupos de GSI, con el fin de prevenir una clasificación geomecánica unívoca válida para todos los macizos rocosos en estudio.

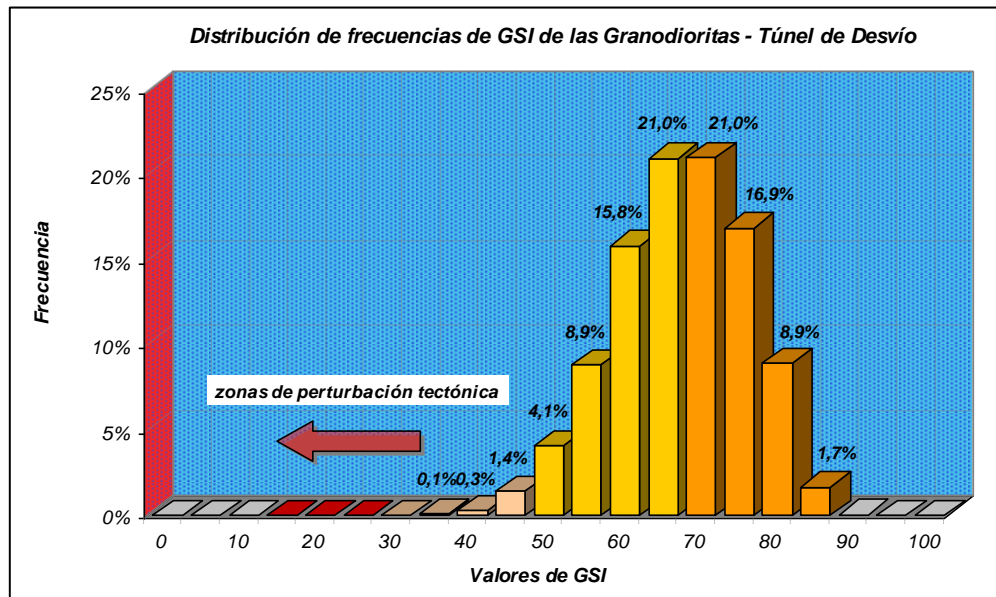
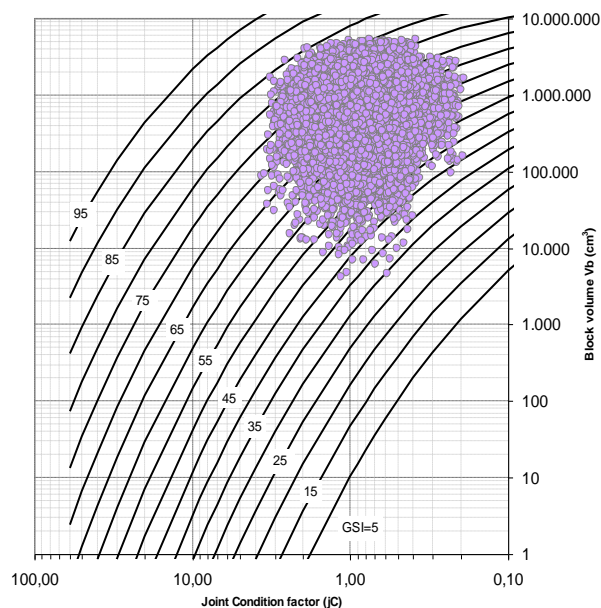
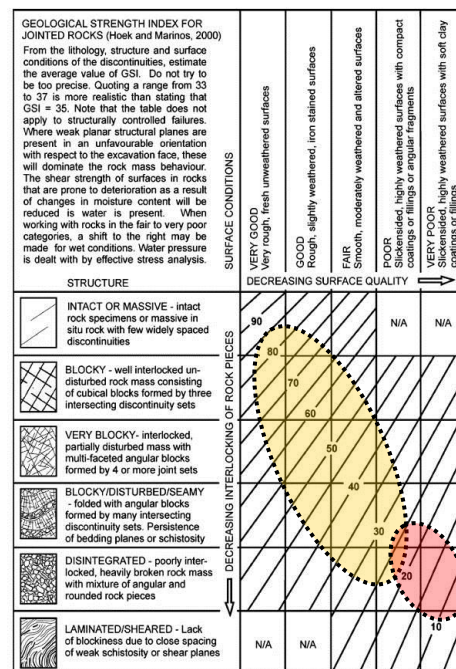


Figura 17. Distribución de frecuencia de GSI de las Granodioritas que caracterizan el Túnel de Desvío.

Fuente: Asociación Geodata – Astec



Valoración cuantitativa del GSI según Russo (2007).



Valoración cualitativa del GSI según la carta de Hoek & Marinos (2000).

Figura 18. Esquemas de valoración

Fuente: Asociación Geodata - Astec

De los análisis de los resultados obtenidos a través de la interpretación de los datos recogidos en las áreas de interés, mediante los levantamientos, se interpretó lo siguiente:

- se propone una subdivisión del GSI en 4 grupos, de los macizos rocosos que comprenden la zona de estudio;
- tal generalización viene sostenida de la variabilidad de GSI observables en el histograma propuesto;

Por lo que se propone:

1_GSI = 65 – 85 (macizos rocosos no disturbados con poca discontinuidad que conforman bloques de forma predominantemente cúbica, la superficie de las juntas varía de no meteorizadas a débilmente meteorizadas) – Structure Blocky / Massive;

2_GSI = 45 – 65 (macizos rocosos parcialmente disturbados con cuatro a más familias de juntas los cuales forman bloques angulares; la superficie de las juntas varía de ligeramente a débilmente meteorizadas) – Very Blocky / Structure Blocky ;

3_GSI = 25 – 45 (macizos rocosos tectónicamente disturbados con diversas familias de juntas de gran persistencia; la superficie de las juntas varía de moderadamente meteorizadas a meteorizadas) – Seamy / Structure Blocky;

4_GSI < 25 (macizo rocoso muy fracturados con débil interconexión entre los bloques formando fragmentos de rocas angulares; la superficie de las juntas varía de meteorizadas a muy meteorizadas) – Structure Desintegrated.

Las **zonas con elevada fracturación** fueron analizadas de tal manera de delimitar el espesor relativo y el espaciado específico. Tales análisis conllevaron también a una evaluación del grado de alteración y del relativo campo de variabilidad de la resistencia a compresión, previo análisis de los resultados de las pruebas de resistencia a compresión (Martillo di Schmidt y Point Load).

En síntesis, de todos los macizos rocosos analizados, y considerando los resultados obtenidos en términos de resistencia a compresión ($\sigma_c \leq 25$ MPa), asociados a los relativos campos de variabilidad del GSI, anteriormente expuestos; se ha considerado

el grupo 4_ $GSI < 25$ como el más representativo de las zonas altamente fracturadas y/o falladas.

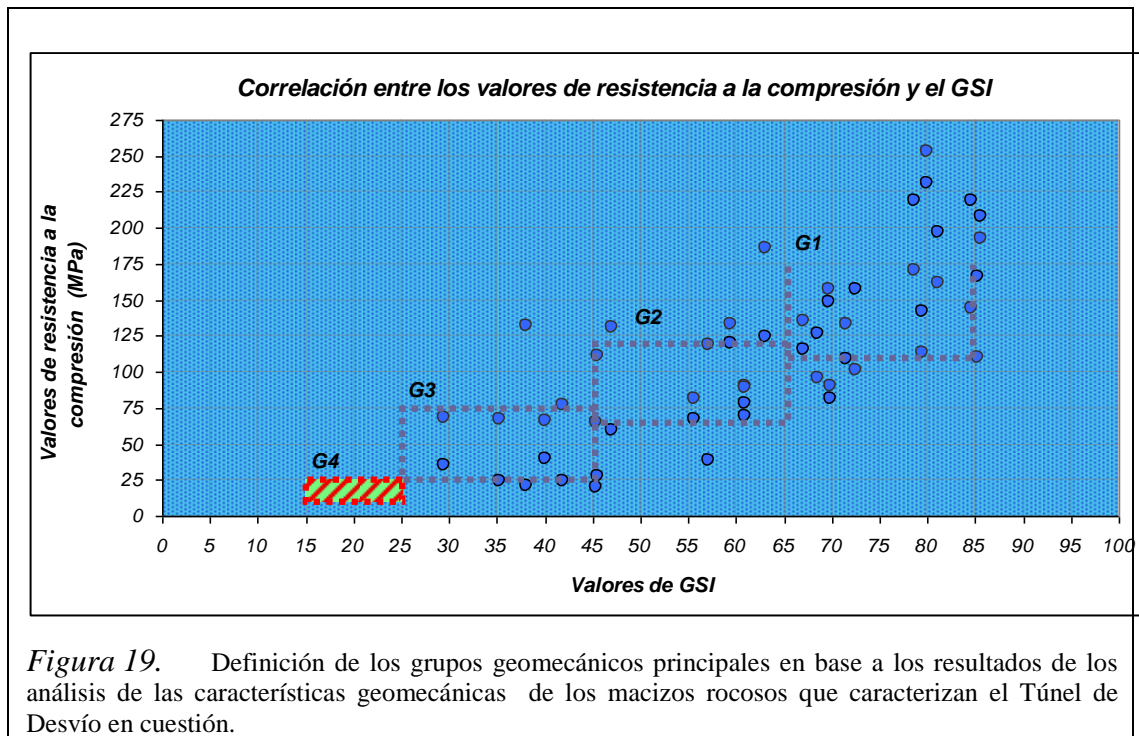
En el caso específico inherente al **Grupo 4 $GSI < 25$** , como se puede observar del histograma de frecuencia de la Figura 17, se han relevado porcentajes muy bajos de ocurrencia en relación a tal escenario.

Este resultado podría ser justificado por el marco geográfico y el climático que caracteriza a la zona, sujeta a la acción de meteorización importante (disgregación de los macizos de roca), donde los afloramientos de granodiorita muy fragmentados y alterados, asociables a las zonas de falla, podría ser ocultados por la vegetación densa ya que están enterrados por una capa de meteorización (suelos residuales) asociados con los depósitos de origen eluvio-coluvial.

2.2.12 Definiciones de los grupos geomecánicos principales

La definición de los Grupos Principales Geomecánicos se basó, a partir de la identificación de 4 grupos de GSI descritos anteriormente, la correlación entre los valores de GSI (obtenidos a través del análisis de los levantamientos estructurales), y la resistencia a compresión de rocas asociadas a ellos (que se obtiene a partir de pruebas con Esclerómetro y pruebas de Carga Puntual).

En el siguiente gráfico se han destacado los campos de la variabilidad del GSI y la resistencia a compresión σ_c (MPa) y se distinguen **4 Grupos Geomecánicos Principales**; los intervalos σ_c , asociado a los grupos de GSI, se definieron sobre la base de los resultados relacionados a las pruebas de resistencia a la compresión realizadas (Esclerométricas, Carga Puntual y laboratorio), y examinando los resultados del análisis estadístico (distribución de frecuencia).



El Grupo Geomecánico G4 ha sido sugerido, en sus principales características en términos de GSI y σ_c , aunque no se ha observado directamente en superficie (a lo largo del eje del túnel en cuestión) macizos específicamente atribuibles a las zonas de fallas con un espesor muy pequeño.

Sin embargo, no se descarta la posibilidad de ocurrencia de tales escenarios negativos durante la excavación del túnel, por lo que, confrontando el Grupo G4 a zonas de falla ya constatadas en el área del proyecto de la presa de Chontal, se consideró apropiado preverlas en conformidad con el modelo geológico propuesto al cual se refiere a tal caracterización geomecánica.

Tabla 12. *Síntesis de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos*

CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA				
Grupos Geomecánicos	G1	G2	G3	G4
GSI (valores típicos)	65 - 85	45 - 65	25 - 45	< 25
RMR (clase típica indicativa)	II (I)	III (II)	IV (III)	IV - V
PARÁMETROS ROCA INTACTA				
m_i	27 - 29	25 - 28	23 - 26	< 23
σ_c (MPa)	110 - 180	70 - 120	25 - 75	< 25
γ (kN/m ³)	27 - 28	26 - 27	25 - 27	< 24
PARÁMETROS MACIZO ROCOSO				
m_b	7,7 - 16,9	3,5 - 8,0	1,6 - 3,7	< 1,5
s	0,020 - 0,19	0,0022 - 0,020	0,0002 - 0,0022	< 0,0002
a	0,502 - 0,500	0,508 - 0,502	0,531 - 0,508	< 0,531
σ_{cm} (MPa)	15,6 - 78,2	3,1 - 17,0	0,3 - 3,4	< 0,3
$\sigma_{cm \text{ global}}$ (MPa)	42,1 - 113,9	17,2 - 46,7	3,7 - 18,8	< 3,6
E_d (GPa)	29,5 - 70,9	6,7 - 32,2	0,6 - 7,1	< 0,6
v	0,1 - 0,3			

Nota: E_d = módulo de deformabilidad (Hoek & Diederichs), 2006; γ = peso unitario, v coeficiente de Poisson. m_i , m_b , s, a = constantes de Hoek-Brown de la roca intacta y del macizo rocoso. σ_c , σ_{cm} , $\sigma_{cm \text{ global}}$ = resistencia de la roca intacta, del macizo rocoso y resistencia global (Hoek et al.2002).

En la tabla precedente, se ha detallado, para cada grupo geomecánico principal, la clase de RMR de referencia más probable, evaluada según el siguiente procedimiento: El índice RMR (Bieniawski, 1973, 1989) se obtiene como la suma de los valores de seis parámetros geomecánicos especificados en la siguiente tabla:

$$\text{RMR} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6.$$

Tabla 13. *Parámetros de entrada para el cálculo de RMR*

R1	Resistencia a compresión de la roca intacta
R2	RQD
R3	Distancia entre las discontinuidades
R4	Condiciones de la discontinuidad
R5	Condiciones hidrogeológicas
R6	Orientación de las discontinuidades

Nota: Asociación Geodata - Astec

Según Tzamos & Sofianos (2007), la suma de los parámetros R2, R3 y R4 forman la componente estructural del índice geomecánico (“fabric index”) y equivale conceptualmente al GSI. En particular, para valores máximos de (R2+R3+R4) y del GSI iguales a 70 y 100 respectivamente, se puede adoptar la relación $(R2+R3+R4) \approx 0.7 * \text{GSI}$.

Basándose en tal relación, es posible obtener una estimación de los valores de RMR más probables correspondientes a los distintos grupos geomecánicos, sumando los valores de los otros parámetros al valor escalado del GSI, y se obtiene:

$$\text{RMR} \approx 0,65 * \text{GSI} + 5 + (\text{R1} + \text{R5} + \text{R6})$$

En la tabla siguiente se resumen los resultados obtenidos mediante el procedimiento para las masas rocosas granodioríticas atravesadas por el túnel.

Tabla 14. *Estimación indicativa de las clases RMR para los diversos grupos geomecánicos*

Grupos Geomecánicos	GSI	R1	R5	R6	RMR	clase RMR (más probable)
G1	65 - 85	12	10÷15	-5	64 - 82	II (I)
G2	45 - 65	7÷12	7÷10	-5	43 - 64	III (II)
G3	25 - 45	4÷7	4÷7	-5	24 - 43	IV (III)
G4	< 25	2	0÷4	-5	< 22	IV - V

Nota: Asociación Geodata - Astec

2.2.13 Parámetros geomecánicos del portal este (entrada)

El portal de entrada del Túnel de Desvío es ubicado en la ladera izquierda del río Guayllabamba, justo al frente de su confluencia con el río Chalguyacu.

Este sector es caracterizado por una playa de aluviones gruesos recientes y luego por una ladera bastante abrupta con inclinaciones entre los 50° y 70° o más, enteramente en roca granodiorítica.



Figura 20. Área del portal de entrada (este) del Túnel de Desvío

La granodiorita en este sector es masiva, fresca a poco meteorizada, afectada por tres familias principales de juntas.

En la siguiente tabla se resumen las características promedias de las principales familias de juntas.

Tabla 15. *Resumen de las características de las familias de juntas*

Orientaciones			BGD (Basic Geotechnical Description) ISRM (International Society for Rock Mechanics)							
Juntas	Direc Buzam (°)	Buzam (°)	Espaciado (cm)	Persistencia (m)	Rugosidad	Condiciones de las juntas	Apertura	Relleno	Agua	JR C
K1	80	25	20-60 60-200 (6-20)	1-3 (<1) 3-20	Planeares rugosas	Débilmente a moderadamente alteradas	Acercadas Abiertas	(brecha)	secas	4-6
K2	165	80	60-200 (6-60)	<1 - >20 3-20	Planeares lisas	Débilmente alteradas (frescas)	Acercadas Abiertas	...	secas	0-2 2-4
K3	100	80	6-20 60-200 (20-60)	<1 3-10	Planeares lisas	frescas	Cerradas	(brecha)	secas	0-2

Nota: Asociación Astec - Geodata

En este sector del Túnel de Desvío, se hicieron levantamientos geoestructurales puntuales y levantamientos geomecánicos lineales con medidas de la resistencia a compresión realizadas con el esclerómetro o martillo Schmidt a lo largo de las discontinuidades principales que caracterizan el macizo rocoso en cuestión.

Para el Portal Este se evaluaron los parámetros de resistencia al corte de las discontinuidades, usando los datos de los levantamientos geoestructurales y de las pruebas de resistencia a compresión (esclerométricas).

Tabla 16. *Características de resistencia al corte de las discontinuidades (análisis probabilístico)*

Formación litológica	Parámetros	Barton – Bandis (datos utilizados)					Mohr- Coulomb ¹	
		Datos de ingreso			Datos de salida			
		JCS ₀ ² (MPa)	JRC ₀ ³	φ _b ⁵ (°)	JCS _n ⁴ (MPa)	JRC _n ⁴	c (kPa)	φ (°)
Granodiorita	mínimo	45	0	29	28	0	0	30
	medio	75	4	31	60	2		36
	máximo	110	6	33	100	4		41
	dev. estand.	---	---	---	15	1	---	3

Nota: JCS₀ : Joint wall Compressive Strength (escala de la muestra: L₀ = 0,15); JRC₀ : Joint Roughness Coefficient (escala de la muestra: L₀ = 0,15); JCS_n : Joint wall Compressive Strength

(discontinuidad in situ: $L_n = 2,5$); JRC_n : Joint Roughness Coefficient (discontinuidad in situ: $L_n = 2,5$); φ_b : ángulo de fricción de base; c , φ : cohesión aparente, ángulo de fricción. Astec - Geodata (1) regresión lineal en el intervalo $\sigma_n = 0-0.4$ MPa; (2) desde ensayos esclerométricos; (3) desde levantamiento geoestructurales; (4) calculado con $L_n = 2.5$ m - Barton e Bandis, 1982; (5) a partir de datos de bibliografía y experiencias previas. La cohesión se considera cero pues a partir de los análisis se obtuvieron valores muy bajos (0-7 kPa) que no tienen un valor físico en tal contexto.

2.2.14 Parámetros geomecánicos del Túnel de Desvío

El Túnel de Desvío se desarrolla en la granodiorita del Batolito Apuela-Nanegal. La roca en superficie se presenta fresca a moderadamente, excepto algunos sectores de fallas o intensa fracturación donde podría ser débilmente a moderadamente alterada.

No existen zonas de fallas regionales que cruzan la obra, todavía hay algunas estructuras menores a lo largo de las cuales se podrían encontrar tramos de roca más meteorizada, goteos a pequeños caudales y pocos rellenos arcillosos o brechosos.

Poco aguas arriba del tapón, además, se encuentra un dique básico cuyas características geomecánicas son muy buena tal como las de la granodiorita fresca. Los contactos en superficie son frescos, cerrados y secos; todavía son discontinuidades a lo largo de las cuales no se pueden excluir una ligera meteorización y presencia de agua.

Desde un punto de vista geomecánico el Túnel de Desvío se desarrolla en una roca muy buena que, excepto los dos portales y un tramo más caracterizado por un ligero aumento general de la fracturación, se queda entre las clases de GSI 1 y 2. En los otros sectores se encuentra una prevalencia de las clases G2 y G3, localmente G4 en correspondencia del portal de entrada y sectores de fallas.

2.2.15 Parámetros geomecánicos del portal oeste (salida)

El portal de salida del Túnel de Desvío está ubicado justo un poco antes de la quebrada Alambi Chico donde esta tiene su confluencia con el río Guayllabamba. Este sector es caracterizado por una ladera muy abrupta, con inclinaciones superiores a los 60° , enteramente en roca granodiorítica.

Portal de salida del túnel de desvío



Figura 21. Área del portal de salida (oeste) del Túnel de Desvío, pocos metros aguas arriba de la quebrada Alambi Chico

La granodiorita en este sector es masiva, fresca a poco alterada, afectadas por seis familias de juntas.

A continuación se resumen las características principales de las familias de juntas que afectan el sector del portal de salida del Túnel de Desvío.

Tabla 17. *Resumen de las características de las familias de juntas*

Orientaciones			BGD (Basic Geotechnical Description) ISRM (International Society for Rock Mechanics)							
Juntas	Direc. Buzam. (°)	Buzam. (°)	Espaciado (cm)	Persistencia (m)	Rugosidad	Condiciones de las juntas	Apertura	Relleno	Agua	JRC
K1	125	50	20-60	1-3 <1	Rugosas lisas	...	Abiertas cerradas	...	...	...
K2	110	20	20-60	1-3	rugosas	...	Abierta	(Cuarzo, óxidos)	...	...
K3	150	85	6-200	1-3	rugosas	...	Abiertas	...	...	...
K4	205	80	200-600 60-200	3-10 <1-3	Onduladas rugosas	Débilmente alteradas	Abiertas	...	Secas	4-6
K5	35	75	20-60	1-3	rugosas	...	Abiertas	...	...	...
K6	280	80	2-6 60-200	3-10	Planear rugosas	Débilmente a moderadamente alterada	Abiertas	(Brechas)	Secas	4-6 6-8

Nota: Asociación Geodata - Astec

En el portal se realizaron levantamientos geoestructurales puntuales y levantamientos geomecánicos lineales asociados a medidas de resistencia a compresión (esclerómetro o martillo de Schmidt) realizados a los largo de las principales discontinuidades que caracterizan los macizos rocosos en cuestión; a continuación se resumen los resultados de los siguientes análisis.

Tabla 18. *Valores de resistencia a compresión*

Parámetros Estadísticos	N. pruebas	Valor Mínimo	Valor Medio	Valore Máximo	Desviación Estándar
Esclerométricos	10	20	105	175	

Nota: Valores de resistencia a compresión después de los análisis estadísticos de los resultados relativos a las Pruebas con Esclerómetro (martillo de Schmidt) efectuadas en relación a Portal Oeste.

Para el Portal Oeste los parámetros de resistencia a corte de las discontinuidades, utilizando los resultados de las pruebas de resistencia a compresión (esclerométricas) se resumen en las siguientes tablas.

Tabla 19. *Características de resistencia al corte de las discontinuidades (análisis probabilístico).*

Formación litológica	Parámetros	Barton – Bandis (datos utilizados)					Mohr-Coulomb ¹	
		Datos de ingreso			Datos de salida			
		JCS ₀ ² (MPa)	JRC ₀ ³	φ _b ⁵ (°)	JCS _n ⁴ (MPa)	JRC _n ⁴	c ^c (kPa)	φ (°)
Granodiorita	mínimo	20	2	29	15	2	0	33
	medio	60	6	31	40	4		38
	máximo	105	8	33	80	5		42
	dev. estand.	---	---	---	12	1	---	2

Nota: JCS₀: Joint wall Compressive Strength (escala de la muestra: L₀ = 0,15); JRC₀: Joint Roughness Coefficient (escala de la muestra: L₀ = 0,15); JCS_n: Joint wall Compressive Strength (discontinuidad in situ: L_n = 2,5); JRC_n: Joint Roughness Coefficient (discontinuidad in situ: L_n = 2,5); φ_b: ángulo de fricción de base; c, φ: cohesión aparente, ángulo de fricción.

(1) regresión lineal en el intervalo σ_n = 0-0.4 MPa; (2) desde ensayos esclerométricos; (3) desde levantamiento geoestructurales; (4) calculado con L_n = 2.5 m - Barton e Bandis, 1982; (5) a partir de datos de bibliografía y experiencias previas. La cohesión se considera cero pues que a partir de los análisis se obtuvieron valores muy bajos (3-9 kPa) que no tienen un valor físico en tal contexto.

2.2.16 Predicción del comportamiento geomecánico

La clasificación utilizada para determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso debido a la excavación del túnel, se basa tanto en la análisis del estado de tensión como en la estimación de las tipologías geoestructurales principales, con particular referencia al esquema base reportado en la siguiente tabla.

Tabla 20. *Modelo de clasificación para la predicción del comportamiento a la excavación*

↓ ANALYSIS→		Geostructural →		Rock mass				
				Continuous ↔	Discontinuous ↔	Equivalent C.		
Tensional↓				RMR				
Deformational response ↓	δ _o (%)	Rp/Ro	Behavioural category ↓	I	II	III	IV	V
Elastic (σ _θ <σ _{cm})	negligible	-	a	STABLE	INSTABLE			CAVING
			b					
Elastic - Plastic (σ _θ ≥σ _{cm})	<0.5	1-2	c	SPALLING/ ROCKBURST	WEDGES			SQUEEZING
	0.5-1.0	2-4	d					
	>1.0	>4	e					
				(f)	→Immediate collapse of tunnel face↑			

Nota: δ_o =deformación radial al frente; R_p/R_o =radio plástico/radio del túnel; σ_θ =máximo esfuerzo tangencial; σ_{cm} =resistencia del macizo rocoso. El límite de las zonas de sombra es tan solo indicativo. (Russo y Grasso, 2008)

El método combina (1) una clasificación de comportamiento basada en la cuantificación de dos índices de deformación (la deformación radial al frente y la extensión de la zona plástica alrededor del túnel) con (2) el conocido sistema RMR. La matriz que resulta de un enfoque de este tipo, con la doble clasificación, permite enfocar de manera óptima el problema específico de diseño para el túnel.

Además, una racional elección del tipo de medidas de estabilización se puede obtener en función del fenómeno de deformación más probable que se va a asociar a las distintas combinaciones de tensión y condiciones geo-estructurales. Con referencia a la parte (1) del proceso de clasificación, los varios macizos se analizan en función de las condiciones de esfuerzo existentes a nivel del túnel, adoptando como hipótesis que no existen medidas de intervención iniciales en el diseño del túnel.

- Categoría de comportamiento “a/b”: la resistencia del macizo rocoso excede el nivel de tensión en el frente y alrededor de la cavidad del túnel. El comportamiento del material es de tipo elástico y en general las deformaciones serán de magnitud insignificante. Se pueden dar fenómenos de inestabilidad únicamente relacionados a la presencia de bloques de roca; esta posibilidad es mínima si, en el caso de ausencia de fracturación, el macizo puede ser asimilado

a un “medio continuo” (categoría "a") y elevada, al contrario, si el macizo puede ser identificado como un medio "discontinuo” (categoría "b").

- Categoría de comportamiento “c”: la magnitud de concentración de los esfuerzos en el frente es similar a la resistencia del macizo rocoso (proporción resistencia-esfuerzo inducida, aproximadamente igual a la unidad). Además, el comportamiento es elásto-plástico, pero sin causar particulares fenómenos de inestabilidad. La deformación radial (δ_o), definida como el índice en porcentaje de desplazamiento radial en el frente (u_o) relacionado con el radio de la cavidad del túnel, R_o , es limitado (menor de 0.5%). A distancia del frente, el esfuerzo circunferencial supera la resistencia del macizo ($S < 1$), provocando la formación de una zona plástica alrededor de la excavación, con un espesor menor al radio del túnel (i.e. $1 < R_p/R_o < 2$).
- Categoría de comportamiento “d”: la magnitud de concentración de los esfuerzos en el frente excede la resistencia del macizo de roca ($S < 1$). La deformación en el frente es 0.5-1.0%, mientras a distancia del frente, la relación R_p/R_o es del rango de 2- 4. Es el caso de un macizo de pobre o débil calidad, esta condición se puede relacionar a un comportamiento de tipo “squeezing”.
- Categoría de comportamiento “e”: se diferencia de la categoría “d” por la magnitud de las deformaciones en el frente y la distancia al mismo. En el frente es mayor del 1.0%, mientras la relación R_p/R_o es mayor de 4. En este caso, se trata de un macizo de pobre o débil calidad geomecánicas, y tiende a un comportamiento de tipo “squeezing” de elevada intensidad.
- Categoría de comportamiento “f”: se caracteriza por un inmediato colapso del frente durante la excavación (imposibilidad de instalar en obra soporte). Este comportamiento, no necesariamente evidenciado a través del análisis tensional, se asocia generalmente a materiales sin cohesión y rocas cataclasadas, como las que se encuentran con frecuencia en las zonas de falla, especialmente en condición de elevada presión hidrostática y/o por elevado estado de tensión “in situ” (alta cobertura).

En el diagrama múltiple se muestra una forma de representación muy útil para describir la clasificación anteriormente citada y su práctica aplicación.

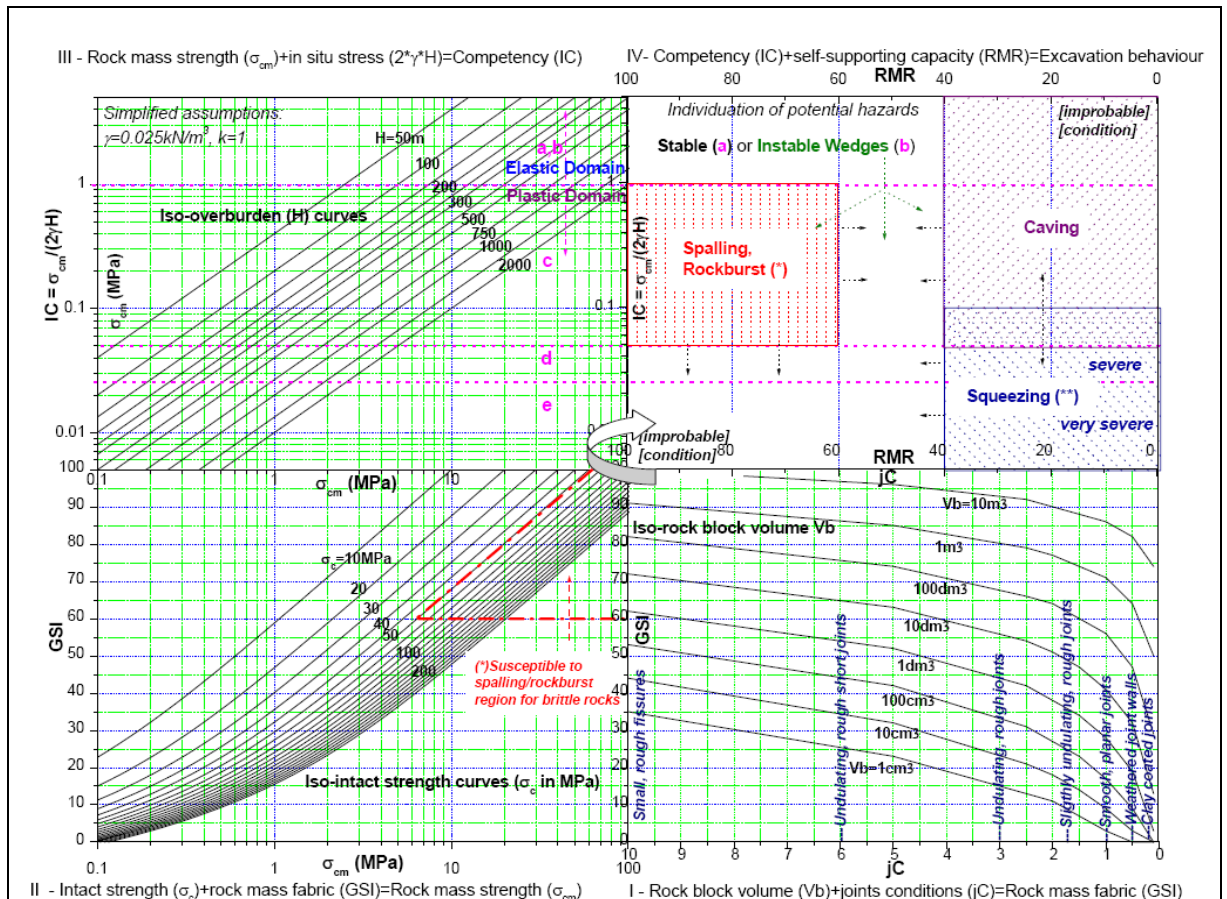


Figura 22. Análisis simplificado para la evaluación del comportamiento a la excavación y de los riesgos potenciales

Nota: (*) Sólo aplicable al derrumbe de una región de rocas frágiles [$IF = (\sigma_c / \sigma_t) > 8$], si no ocurriría un fallo a esfuerzo cortante, (**) implica pronunciadas deformaciones en función del tiempo y está asociado a rocas con baja resistencia y deformación alta: de lo contrario, prevalecen las deformaciones plásticas (no en función del tiempo) se producen generalmente asociados a los hundimientos; depende también de la longitud de la posible zona propensa: originando un posible "efecto silo", para pequeñas zonas incluidas en las rocas de buena calidad, es más probable que ocurra un derrumbe. Símbolos σ_c , σ_{cm} = tensiones en la roca intacta ($= \sigma_c \cdot sa$); jC = factor de condición, V_b = volumen; γ = densidad de la roca.

El Índice de Competencia (IC) relaciona la resistencia del macizo rocoso (σ_{cm}) con el máximo esfuerzo tangencial actuante. La proporción entre la categoría de comportamiento y el Índice de Competencia (IC) se basa en la correlación experimental detallada por Russo & Grasso (2006).

Para los distintos grupos geomecánicos se observa que:

Grupo G1: la respuesta de deformación a la excavación se da siempre en campo elástico (*stable*); las posibles inestabilidades están relacionadas esencialmente a la posibilidad de cuñas rocosas (*instables wedges*) aisladas de los sistemas de discontinuidad presentes (clase II de RMR).

Grupo G2: la respuesta de deformación resulta en campo elástico (o al límite elástico-plástico). Los fenómenos de deformación típicos están aún relacionados a las

posibles cuñas de roca inestables (*instables wedges*); tal fenómeno, se puede asociar a un reducido desarrollo de deformaciones plásticas, con prevalencia de roturas por cortante (clase III de RMR).

Grupo G3: el comportamiento a la excavación presenta normalmente una evolución en campo plástico, con tendencia a conseguir una nueva condición de estabilidad (clase IV-III de RMR); previo un relativo y modesto desarrollo de la deformación. Sin embargo, la deformación tipo podría variar de una inestabilidad grave del frente y/o la excavación a un comportamiento de tipo “caving”.

Grupo G4: la relación entre la resistencia del macizo rocoso y las solicitaciones originadas por la excavación es tal que se producen teóricamente deformaciones plásticas de mayor intensidad respecto al caso anterior, pero la reducida potencia de los tramos en G4 debería también en este caso predisponer a una inestabilidad de tipo grave, determinada por la reducida capacidad autoportante del macizo (clase IV-V de RMR). Por otra parte, se debe añadir que el fenómeno de “squeezing” viene marcado por una importante componente de las deformaciones diferidas y, en base a las experiencias disponibles, tal posibilidad se debería asociar al caso de una marcada alteración química de la roca ígnea.

** Esta información fue tomada de la información existente del Proyecto Hidroeléctrico Chontal.

2.3 Condiciones Topográficas

Para los trabajos topográficos de campo (escalas 1:1.000, 1:500 y 1:200), se posicionó y monumentó ocho puntos GPS de precisión milimétrica, cuatro de ellos en el sector de San José. (Parroquia García Moreno) y los cuatro restantes en el sector de Chontal. El Sistema de Referencia Geodésico utilizado para el proyecto Chontal es con el Datum WGS-84. La proyección cartográfica utilizada en todos los casos es Universal Transversal de Mercator, zona 17 sur.

Considerando las necesidades de diseño del Proyecto Chontal se han realizado poligonales desde puntos de GPS colocados en las cercanías del proyecto. El control

horizontal se realizó a partir de puntos de control colocados por la Compañía Herdoiza Crespo para la construcción de la carretera Selva Alegre – Saguangal, enlazados a la red geodésica del IGM.

Para todos los trabajos topográficos se utilizaron aparatos electrónicos de alta precisión que permiten obtener en forma directa coordenadas, ángulos horizontales y verticales y distancias horizontales e inclinadas.

En el sector de Chontal se realizó un levantamiento topográfico de precisión, en escalas 1:1.000, 1:500 y 1:200 con curvas de nivel cada metro, que cubre una superficie de 169,75ha.

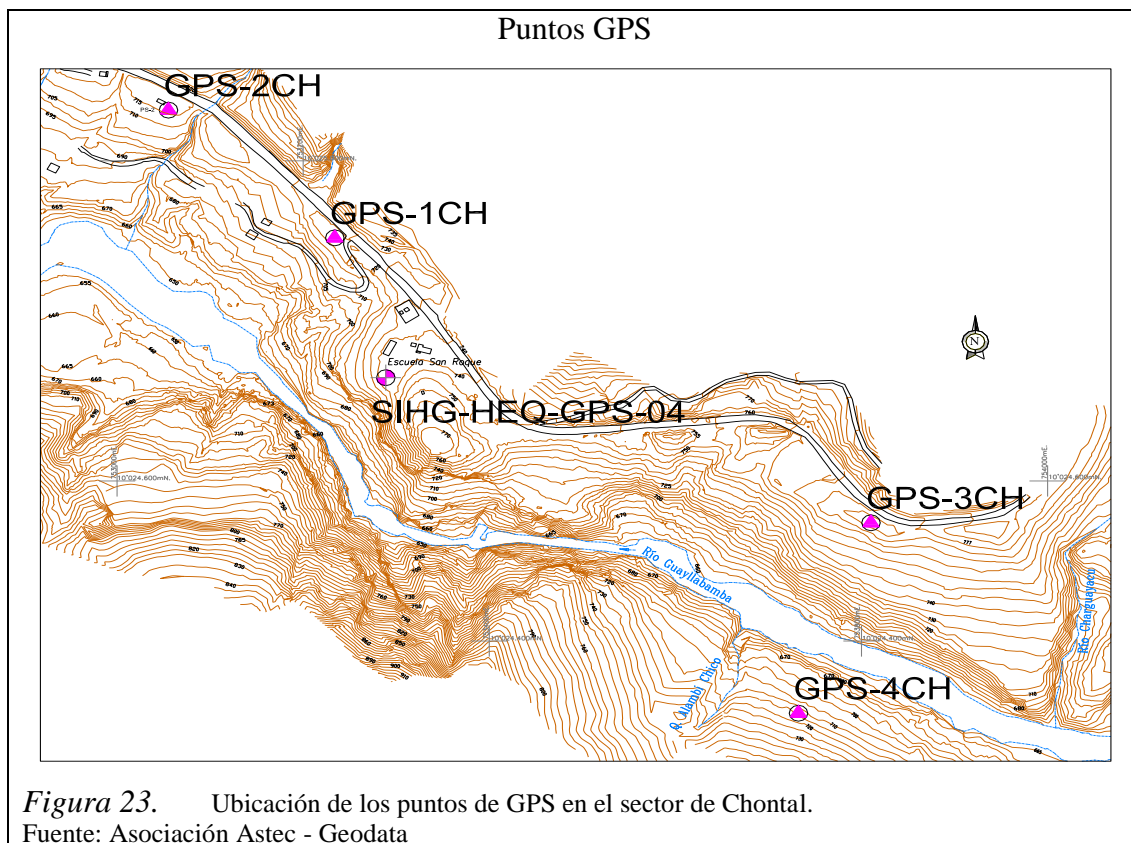
Para los trabajos topográficos en el sector de Chontal se colocaron 4 puntos de GPS de precisión cuyas coordenadas constan en la siguiente tabla con la ubicación indicada en la figura que incluye un punto de GPS proporcionado por HIDROEQUINOCCIO E.P.

Tabla 21. *Coordenadas de los puntos de GPS en el sector de Chontal*

NOMBRE	LONGITUD [m]	LATITUD [m]
GPS-1CH	753.233,99	10°024.903,76
GPS-2CH	753.055,26	10°025.063,34
GPS-3CH	753.810,19	10°024.547,74
GPS-4CH	753.732,27	10°024.309,80
SIHG-	753.288,82	10°024.728,98

Nota: Asociación Geodata - Astec

El GPS proporcionado por HIDROEQUINOCCIO E.P. permitió verificar las diferencias con los puntos colocados por AGA, arrojando los siguientes resultados: 6,8 cm. en latitud, 4,5 cm. en longitud. Estas diferencias se consideran aceptables y no dan lugar a modificaciones de los planos topográficos y de diseño de las obras realizadas para el Proyecto.



Una vez obtenida toda la información topográfica necesaria para el estudio del proyecto se procedió a analizar las ubicaciones más adecuadas de las obras, obviamente teniendo en cuenta las condiciones geológico-geotécnico del área del proyecto, dando como resultado que de acuerdo a la topografía obtenida y al estudio geológico - geotécnico se determinó que la ubicación del túnel de desvío será en el margen izquierdo del río Guayllabamba debido a que en la margen derecha está ubicado el río Changuayacu.

Una vez obtenida la topografía se procede a la implantación de los ejes de las obras que se efectuará en la zona, y con la ayuda del programa AutocadCivil3D se procede a sacar los perfiles topográficos en donde se podrá tener a disposición cortes transversales y cortes longitudinales de las obras.

CAPÍTULO 3

PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE LAS OBRAS DE DESVÍO

Las obras de desvío en un río son aquellas estructuras que sirven para dar un nuevo encauzamiento a las aguas y dejar sin escurrimiento superficial, así como protección a la zona destinada a las obras durante un su período de construcción.

Las obras de desvío pueden ser de carácter permanente (una vez finalizado el proyecto se puede seguir utilizando estas estructuras en otros fines por ejemplo para aliviar excedentes) o temporales (terminado el proyecto se procederá a sellarlas permanentemente).

3.1 Criterios para el planteamiento de alternativas

a) Esquemas comúnmente aplicados en sistemas de Obras de Desvío

Entre los esquemas de desvío comúnmente aplicados están:

- Canales Abiertos: en valles de gran anchura que permiten el manejo del río
- Túneles de desviación: en valles estrechos.
- Utilización por etapas de las obras parcialmente construidas, en caso de valles medianamente anchos y anchos.

b) Opciones aplicables al proyecto Chontal

Por las condiciones topográficas en el sitio de presa Chontal, el esquema recomendable, es el de canal de desvío o túnel de desvío en una de las márgenes. Si bien es cierto que por las condiciones geológico- geotécnicas en el sitio de presa las dos márgenes son aptas para la implantación del túnel, en cambio por las condiciones topográficas la margen derecha tiene importantes complicaciones, en particular por la presencia del río Chaguayacu y la disponibilidad de escaso espacio aguas abajo de ese río; en cambio la margen izquierda, aparte de las buenas condiciones

topográficas, presenta mejores condiciones hidráulicas, por la configuración del cauce en el acercamiento al portal de entrada al túnel de desvío.

3.2 Planteamiento de alternativas del Sistema de Desvío para el Proyecto Chontal

En principio para el sistema de desvío del proyecto Chontal se plantean los siguientes esquemas de desvío:

- a) Desvío con un canal ubicado en la margen izquierda;
- b) Desvío con un túnel ubicado en la margen derecha;
- c) Desvío con un túnel ubicado en la margen izquierda.

3.2.1 Alternativa de canal de desvío

Conforme lo indicado en el párrafo precedente la alternativa de canal de desvío es recomendable en casos de topografías caracterizadas por tener valles amplios, lo que no sucede en el caso del sitio de presa del Proyecto Chontal; esta realidad origina las siguientes consecuencias que descartan la viabilidad técnica y económica de la alternativa con túnel de desvío:

- a) Se requeriría de un canal con sección de flujo no inferior a 250 m^2 , lo que implica no solo considerables volúmenes de excavación (300 m^3 de excavación del canal por metro lineal de conducción y no menos de 799 m^3 por metro lineal de plataforma de canal);
- b) La excavación de las laderas sería de tal magnitud que afectaría la integridad geológica en el macizo de cimentación de la presa, modificando considerablemente las condiciones físicas de diseño de la infraestructura principal

De igual manera, por las razones topográficas aclaradas en el punto 3.1, literal b), particularmente por la presencia del río Chaguayacu que afectaría la construcción de la ataguía aguas arriba, se descarta la alternativa de desvío con túnel en la margen derecha.

En consecuencia como opción viable desde el punto de vista técnico queda la alternativa de desvío con túnel en la margen izquierda. Dentro de esta alternativa cabe analizar dos variantes: túnel con flujo a presión y túnel con flujo de superficie libre.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE 2 ALTERNATIVAS DE LAS OBRAS DE DESVÍO PLANTEADAS PARA EL PROYECTO CHONTAL

Una vez definida la conveniencia de un túnel de desvío en la margen izquierda, surgen dos posibilidades: túnel de desvío con flujo a presión y túnel de desvío con flujo de superficie Libre

4.1 Alternativa de Túnel de Desvío con flujo a presión

Para el análisis del túnel a presión se ha considerado una rugosidad absoluta del hormigón compatible con el coeficiente de maning ($n=0.014$) utilizado para el análisis de túnel con flujo de superficie libre; el valor obtenido de la rugosidad absoluta es $\Delta=0,4\text{mm}$. Asumiendo como diámetro límite máximo $D=12\text{ m}$, para flujo a presión se obtiene pérdidas de carga superiores a los 2,20 m; para diámetros inferiores las pérdidas son superiores; por ejemplo para diámetro $D= 9,00\text{ m}$ las pérdidas de carga están por el orden de los 10,20 m.

Tabla 22. *Cálculos del diámetro del túnel con flujo a presión*

D	v	R	λ	h_L
m	m/s	m	-	m
12	10,98	3	0,011	2,20
10	15,81	2,5	0,011	5,82
9	19,52	2,25	0,012	10,20
8	24,71	2	0,012	19,12

Nota: Elaborado por Andrea Gordón

Donde:

D: diámetro

v: velocidad

R: radio hidráulico

h_L : pérdidas de carga

Considerando la pendiente del río, para satisfacer los requerimientos de carga se requerirían alturas de ataguía aguas arriba superiores a las obtenidas para túnel con flujo de superficie libre de diámetros compatibles.

4.2 Alternativa de túnel de desvío con flujo de superficie libre

El análisis del túnel con flujo de superficie libre se ha realizado de forma más detallada considerando las ventajas de esta alternativa respecto a la del túnel a presión.

Los túneles para flujo de superficie libre normalmente tienen la geometría de la sección transversal que corresponde a las condiciones geológico-geotécnicas en su trayecto. Hay diferentes variantes de secciones tipo herradura, tipo baúl, etc. pero sin lugar a duda la sección universal que se adapta a las diferentes condiciones geológico-geotécnicas es la sección circular que se adopta en el presente caso.

Los resultados se incluyen en el siguiente punto relacionado a la comparación de alternativas.

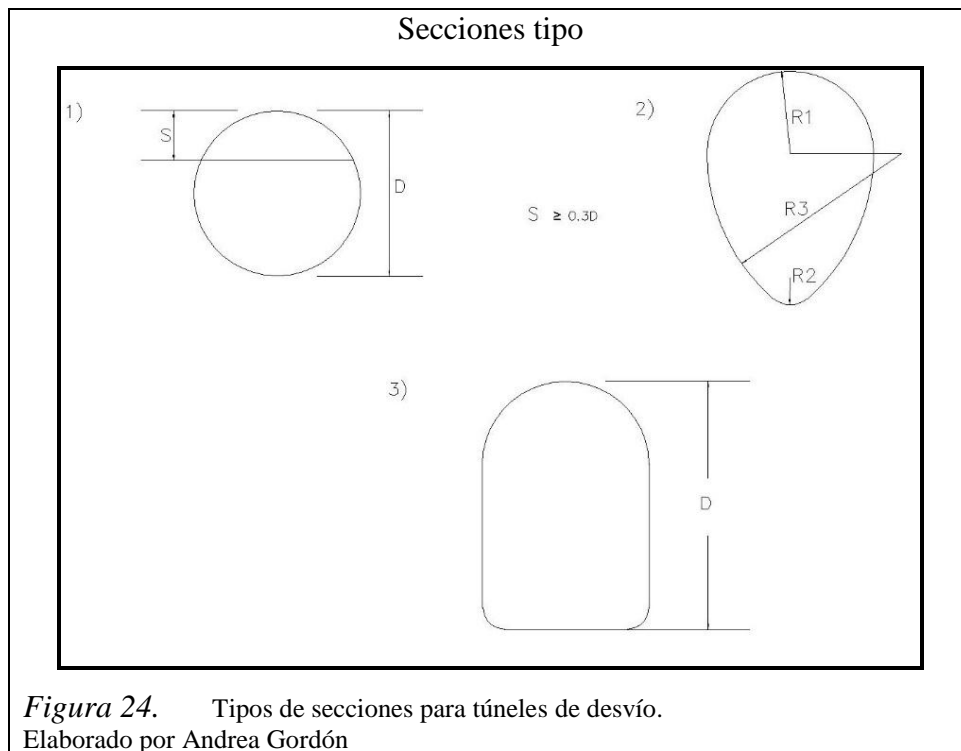
4.3 Comparación de las 2 alternativas y selección de la alternativa

Respecto a las dos alternativas consideradas del túnel de desvío con flujo a superficie libre y flujo a presión, cabe distinguir las siguientes ventajas y desventajas.

- a) El túnel a presión requiere menor sección de flujo, por consiguiente las velocidades son relativamente altas y, por consiguiente, también las pérdidas de carga, lo que implica mayores alturas de ataguía; por otra parte, la excavación en roca disminuye a medida que disminuye el diámetro. En consecuencia la dimensión que se adopte del túnel debe ser consecuencia de una comparación técnica económica de variantes.
- b) Hay que considerar que el caudal del túnel de desvío durante el proceso de su operación tiene un amplio margen de variación desde un caudal mínimo que puede ser cercano a 0 durante el estiaje hasta el caudal máximo que corresponde a la crecida de diseño del canal de construcción; esta variación implica una de dos opciones: i) que el túnel deba trabajar tanto con flujo de superficie libre como con flujo a presión, lo que origina cargas dinámicas sobre las paredes de la excavación y/o el revestimiento, las mismas que al ser consideradas en el diseño llegan a tener efectos económicos importantes; ii) que deban tomarse medidas

constructivas para garantizar el flujo a presión en forma permanente, como se describe en el siguiente párrafo.

- c) Para evitar el problema anterior (régimen intermitente) y asegurar flujo a presión permanente se requiere profundizar las excavaciones de acceso y de salida del túnel, lo que origina incremento de volúmenes de excavación y problemas de operación en el mismo túnel.
- d) El túnel de desvío con flujo de superficie libre requiere de una mayor sección de flujo que garantice, además, la aeración del flujo manteniendo un espacio mínimo entre el nivel de agua y el punto alto de la cúpula no inferior a $0.3D$ donde D es el alto de la sección.



- e) Por otra parte es necesario considerar que mientras más alta sea la velocidad de flujo en la conducción mayor es la carga de velocidad requerida en el ingreso al túnel, lo que además involucra una mayor altura de la ataguía superior.
- f) En la práctica se adoptan diferentes secciones transversales del túnel dependiendo, particularmente, de las condiciones geológico-geotécnicas; por ejemplo (Fig 24) sección 2) (sección herradura) se utiliza con frecuencia cuando existe la posibilidad de empuje de la roca en la base del túnel; la sección 3) (tipo baúl) se utiliza en caso de rocas resistentes; por su parte la sección circular es la

que mejor responde desde el punto de vista mecánico a condiciones geológico - geotécnicas no uniformes.

Para el presente diseño adoptaremos la alternativa con flujo de superficie libre.

CAPÍTULO 5

ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

El programa consta del tabulado de todas las ecuaciones que constan en la teoría y están constituidas por ecuaciones de hidráulica de estructuras, y la confiabilidad es la resolución de las ecuaciones dado a que son las más utilizadas en este tipo de cálculos, la base teórica consta desde la página 65 hasta la página 75.

5.1 Descripción del modelo y análisis técnico económico del túnel de desvío

El análisis técnico – económico se sustenta en las siguientes premisas:

- El costo total del sistema de desvío está constituido por los costos de ataguías, túnel de desvío y vías de acceso. Con aceptable margen de error se puede asumir que el costo de las vías de acceso casi es idéntico para las varias opciones que puedan surgir en función de las dimensiones de la sección transversal del túnel; en consecuencia en el análisis normalmente se incluye únicamente los costos de ataguías y del túnel de desvío.
- Como se mencionó anteriormente la disminución de la sección transversal del túnel involucra el incremento de la altura de la ataguía superior, así como de la velocidad de flujo y, por consiguiente, de la pendiente de túnel, de acuerdo a la ecuación de Chezy.

$$Q_{max} = \omega C \sqrt{Ri} \quad ; \quad v = c \sqrt{Ri}$$

Bajo la condición de que el dimensionamiento se realiza para caudal máximo.

$$i = \frac{v^2}{c^2 R} \quad v = \frac{Q_{max}}{w}$$

- Respecto a la ataguía aguas abajo su altura depende de la profundidad en el cauce a la altura del portal de salida, para el caudal Q_{max} ; esta profundidad se obtiene de la curva de descarga construida para dicho sitio. Se asume que para este tipo

de conducción es recomendable la ecuación de Chezy (flujo uniforme) aun cuando está claro que en los tramos inicial y final de la conducción las características del flujo son de no uniformidad.

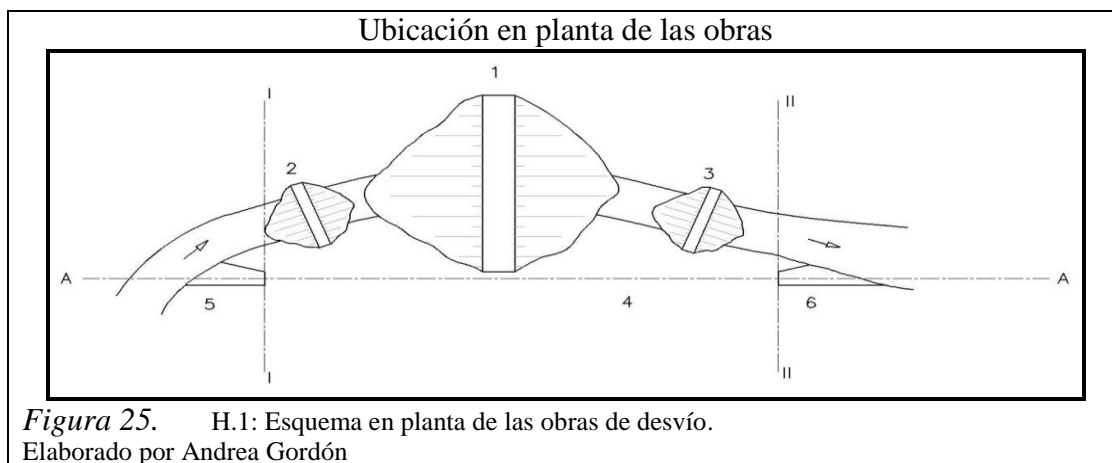
- Para seleccionar la sección óptima será necesario adoptar una serie de diámetros a fin de encontrar el diámetro al que corresponda el menor costo total (costo de ataguías más costo de túnel).
- El diámetro seleccionado deberá ser verificado para el caudal mínimo del río, con el que se diseña el proceso del cierre del cauce.

5.2 Presentación de resultados

Sobre la base de consideraciones específicas, en el Análisis Geotécnico se optó por un túnel de desvío con sección transversal circular. En consecuencia, para los análisis subsiguientes, asumimos que el diámetro interior del túnel de desvío es **D**; está claro que cada diámetro considerado en el análisis tiene relación analítica exclusivamente, con parámetros hidráulicos, sin embargo el diámetro seleccionado tiene relación con factores económicos como se evidencia más adelante.

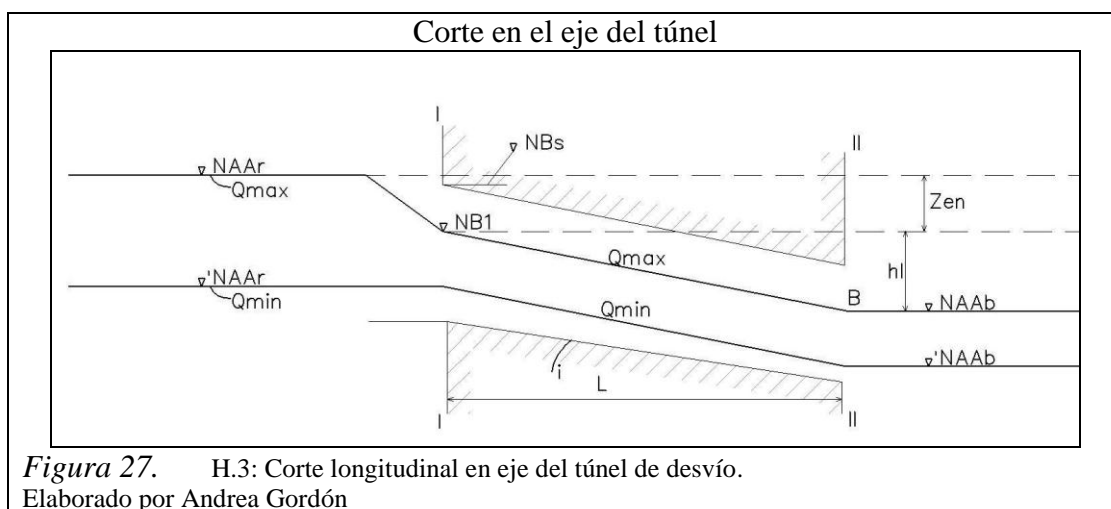
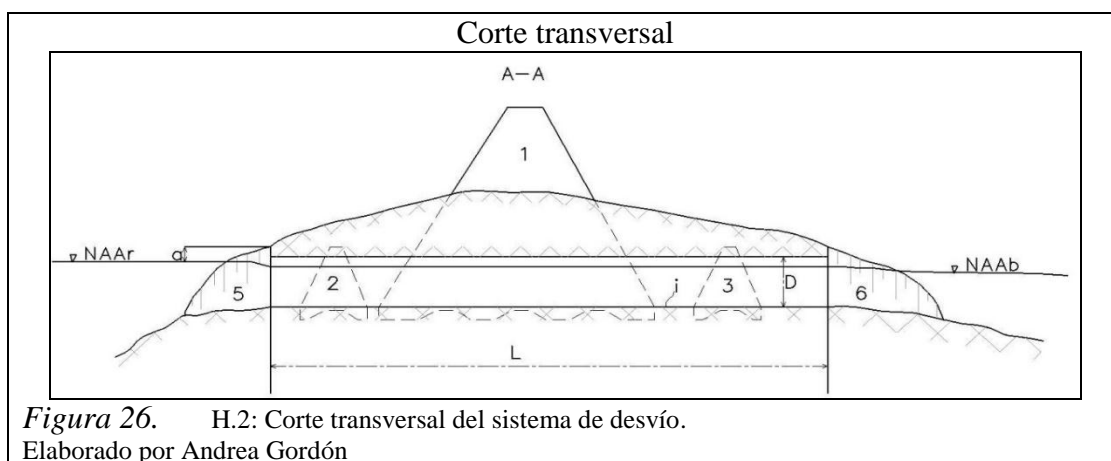
El análisis hidráulico del túnel de desvío se realiza para la crecida máxima probable, definida en el capítulo del Análisis Hidrológico (Cap. 2.1.), que corresponde a una probabilidad de ocurrencia del 10% ($Q_{\max} = 1242 \text{ m}^3/\text{s}$); el diámetro **D** determinado para este caudal será complementariamente sometido a una verificación especial, para el caso de que fluya a través del túnel el caudal mínimo de construcción (Q_{\min}).

Previo al análisis propuesto, en la topografía del sitio, sobre las curvas de nivel, se han implantado la presa principal diseñada en los estudios principales del proyecto Chontal, las ataguías (superior e inferior), el eje del túnel, definido a partir de las consideraciones hechas en el capítulo del Análisis Geotécnico (Cap. 2.2) y la ubicación de sus portales aguas arriba y aguas abajo. Estas implantaciones están detalladas en el plano No. 5 y esquemáticamente se indican a continuación en la Figura 25.



Donde:

1. Presa
2. y 3. Ataguías
4. Eje del Túnel
5. y 6. Portales



Para la sección transversal del río, en la que está ubicado el eje de la ataguía inferior, (sección II-II en la Figura 25), en el capítulo correspondiente al Análisis Hidrológico está construida la curva de descarga que establece la relación:

$$\nabla \text{NAAb} = f(Q)$$

Utilizando esta curva y a partir del caudal Q_{\max} , se determina la cota respectiva aguas abajo (ver punto B en la figura 27).

Al realizar el análisis hidráulico del túnel de desvío para Q_{\max} , asumimos que tiene lugar flujo uniforme de agua y que, por consiguiente, la pérdida de carga longitudinal se determina con la Ecuación de Chezy; esta premisa es cierta para toda la longitud del túnel, excepto los tramos colindantes con los portales de entrada y salida, donde el flujo podríamos considerar como no uniforme de variación suave.

En el gráfico H.3 están considerados los siguientes parámetros:

- a) ∇NAAb y $\nabla' \text{NAAb}$: cotas del nivel de agua, aguas abajo, respectivamente para Q_{\max} y Q_{\min} ;
- b) h_o : profundidad normal aguas abajo, para Q_{\max} ;
- c) i : Pendiente del fondo del túnel;
- d) h_l : pérdida de carga longitudinal en el túnel:

$$h_l = iL;$$

- e) Z_{en} : desnivel hidráulico de entrada; se obtiene a partir de la Ecuación de Bernoulli aplicada al tramo de entrada:

$$Z_{en} = \frac{v^2}{2g\phi^2}$$

Donde: v es la velocidad media del agua en el túnel y ϕ es el coeficiente de velocidad, (considera la pérdida de carga en la entrada del agua del túnel);

f) Z_0 : diferencia de los niveles de agua entre aguas arriba y aguas abajo, igual a:

$$Z_0 = h_l + Z_{en}$$

- g) ∇NAAr : cota del nivel de agua aguas arriba para el flujo de Q_{\max} ;
- h) $\nabla'\text{NAAr}$: cota del nivel de agua aguas arriba para el flujo de Q_{\min} ;
- i) ∇Cr : cota de fondo en el ingreso al túnel;
- j) ∇Bs : cota superior de la cúpula del túnel en la sección I-I del portal aguas arriba;
- k) ∇NB1 : cota del nivel de agua en la sección inicial (sección I-I), igual a:

$$\nabla\text{NB1} = \nabla\text{NAAb} + h_l = \nabla\text{NAAr} - Z_{en}$$

Asumiendo varios valores del diámetro “D” del túnel y aplicando la Ecuación de Chezy se obtienen diferentes valores de la pendiente i del fondo del túnel. Cuanto más pequeño sea el valor asumido del diámetro tanto mayor será la velocidad media de flujo v en el túnel, para el caudal dado y, por consiguiente, tanto mayores serán la pendiente i y la caída de la línea de superficie libre Z_{en} a la entrada del agua en el túnel.

Con la disminución del diámetro, el costo del túnel (para una longitud fija L) disminuye. Sin embargo, en este caso, se incrementa el nivel de agua aguas arriba (∇NAAr) para un nivel aguas abajo ∇NAAb preestablecido (ver punto “B” en el gráfico H.3. Consecuentemente, se eleva también la cota de la cresta de la ataguía superior (ver gráfico H.1), igual a:

$$\nabla\text{Cr.at.} = \nabla\text{NAAr} + a$$

Donde a es la elevación de la cresta de la ataguía sobre el nivel de agua aguas arriba. Como se aprecia, con la disminución del diámetro D el costo de la ataguía superior debe incrementarse.

El objetivo del análisis debe consistir en lo siguiente:

Se debe determinar aquél diámetro D del túnel para el cual, la suma del costo del túnel y de la ataguía superior sea la mínima; precisamente este diámetro será el de diseño.

Este problema se resuelve calculando las magnitudes correspondientes, por ejemplo, en forma tabulada (Tabla 40); en esta tabla se adoptan varios diámetros y para uno se determinan las magnitudes correspondientes.

Donde:

Q : Caudal calculado para un periodo de retorno determinado ($T_r=10$ años)

D : Diámetro Interior

h_o : Profundidad

n : Coeficiente de Manning

ω : Sección de flujo

C : Coeficiente de Chezy

v : Velocidad media

i : Pendiente

H : Pérdida de carga

Z_{en} : Caída de carga a la entrada

Z_o : Diferencia de niveles

∇_{NAAr} : Nivel aguas arriba

∇_{NB1} : Nivel en la sección I-I

∇_{Cr} : Cota de fondo al inicio del túnel

H_{at} : Altura de la ataguía superior

F_{at} : Área de la sección de la ataguía

B_m : Longitud media de la ataguía

W_{at} : Volumen de la ataguía

Incrementando desde la curva $\nabla_{NB1}=f_5(D)$, hacia arriba, la magnitud $0.3D$ se obtiene la curva

$$\nabla_{NBs}=f_7(D)$$

El mínimo de la curva $\Sigma C=f_3(D)$ determina al diámetro buscado D. Obviamente el diámetro encontrado de esta manera cabe redondear.

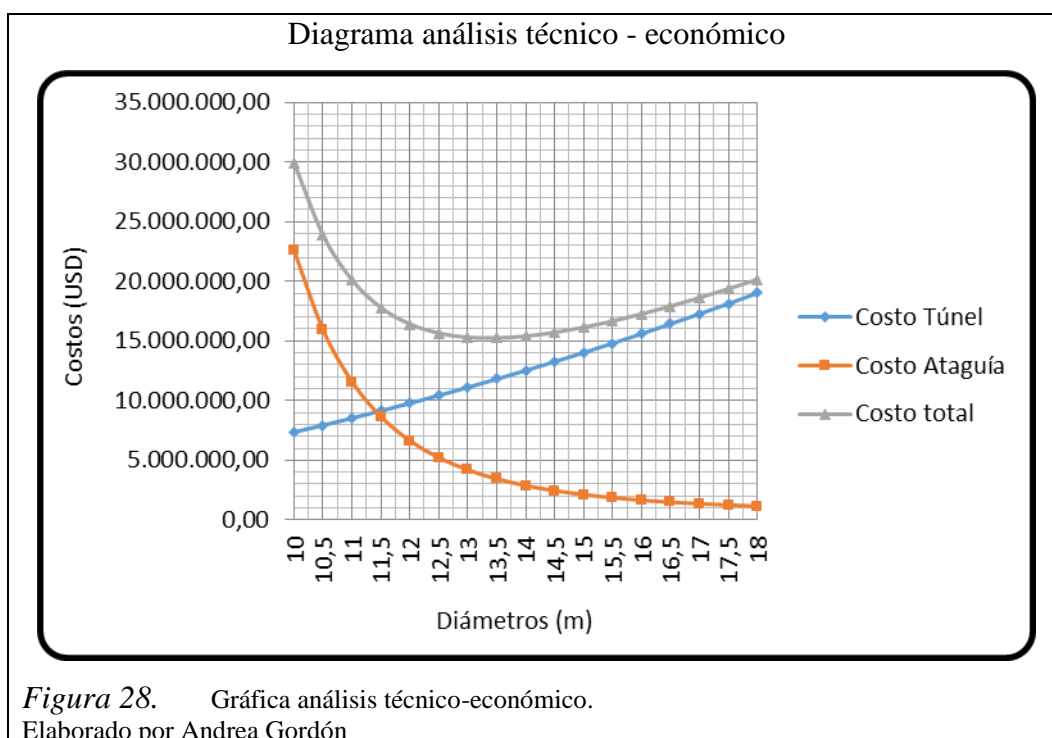
Una vez determinado el diámetro económico óptimo D, a continuación, a partir de las curvas de la figura 29 se determinan otras cosas necesarias que corresponden al diámetro encontrado:

Tabla 23. *Cálculo del costo del total*

D (m)	Wat (m3)	CA	CT= CA+Ctu
(m)	(m3)	(USD)	(USD)
9	1002229,32	50111466,1	55206069,7
9,5	661483,564	33074178,2	38642988,8
10	451900,168	22595008,4	28658588,4
10,5	318778,704	15938935,2	22517847
11	231695,448	11584772,4	18699578,4
11,5	173164,253	8658212,67	16329475,2
12	132828,929	6641446,44	14889727,9
12,5	104384,742	5219237,11	14065099,8
13	83894,648	4194732,4	13658738,8
13,5	68841,5369	3442076,84	13544789,3
14	57580,4875	2879024,37	13641005,2

Nota: D=diámetro. Wat= volumen de la atagúa. CA= costo de la atagúa. Ctu= costo del túnel. CT= costo total.

Elaborado por Andrea Gordón



El diámetro encontrado debe, adicionalmente, ser verificado bajo las siguientes consideraciones:

a) La ataguía superior es de material del lugar, en particular del obtenido en la excavación del túnel de desvío; en este caso el procedimiento de cierre del cauce consiste en levantar con dicho material, colocado en el agua en movimiento, una ataguía parcial. Luego de formar esta ataguía parcial, en su talud superior se coloca un filtro invertido y luego se continúa con la construcción de la ataguía total.

b) El cierre del río con la ataguía parcial siempre se ejecuta en estiaje (cuando el caudal del río es Q_{min}), cuya magnitud siempre puede ser previamente establecida. En este caso se establece la condición de que en el momento de cierre total del río con la ataguía parcial, el desnivel Z' entre aguas arriba y aguas abajo satisface la condición:

$$Z' \leq 2.0-3.0 \text{ m}$$

c) En caso de que esta condición no se cumpla resultará difícil cerrar el cauce con la ataguía parcial.

d) Debido a lo indicado surge la necesidad de determinar la magnitud del desnivel Z' en la ataguía, cuando por el túnel, cuyo diámetro ha sido previamente determinado, fluye el caudal de estiaje Q_{min} . Este problema se resuelve de la siguiente manera:

- 1) Se asume que el portal superior al túnel de desvío tiene sección transversal rectangular de ancho D , con la particularidad de que este orificio de entrada trabaja como vertedero no sumergido de pared ancha (cuando fluye el caudal Q_{min});
- 2) Se determina la carga sobre el vertedero, en el momento que se cierra la ataguía parcial, utilizando la ecuación del vertedero:

$$H = \left[\frac{Q_{min}}{mD\sqrt{2g}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Donde, el coeficiente de descarga del vertedero, $m=0.35$.

3) Conociendo la carga H , se determina la cota $\nabla'NAAr$:

$$\nabla'NAAr = \nabla'Cr + H$$

4) Con la ayuda de la curva de descarga, conociendo el Q_{min} se determina $\nabla'NAAb$;

5) Finalmente se determina el valor buscado de Z' :

$$Z' = \nabla'NAAr - \nabla'NAAb$$

6) Si es que Z' resulta ser mayor a 2-3 m, entonces cabe descartar el diámetro económico D determinado previamente y, asumiendo el desnivel $Z'=2-3$ m, determinar el diámetro del túnel, de la siguiente manera:

a) Se determina la cota máxima permisible del nivel aguas arriba, cuando fluye Q_{min} :

$$\nabla'NAAr = \nabla'NAAb + (2-3) \text{ m};$$

b) La cota de $\nabla'Cr$, cuando fluye Q_{min} y el nivel aguas arriba es $\nabla'NAAr$, será:

$$\nabla'Cr = \nabla'NAAr - H,$$

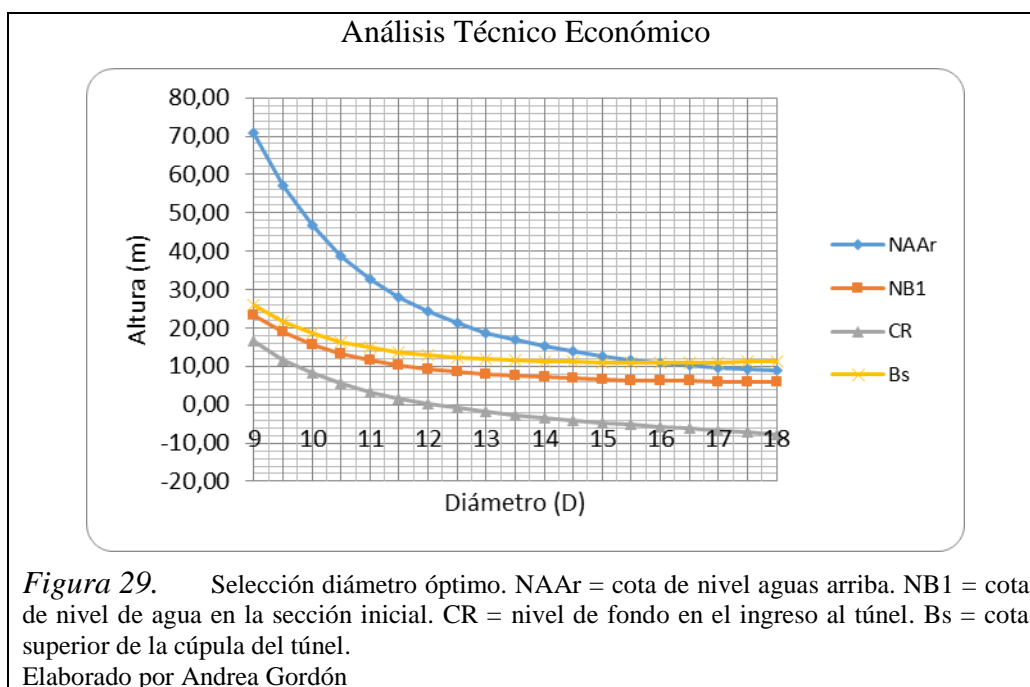
O sea:

$$\nabla'Cr = \nabla'N_{AAr} - \left(\frac{Q_{min}}{mD\sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Asumiendo diferentes valores de D , podemos determinar por esta fórmula los correspondientes valores de $\nabla'Cr$.

c) Sobre la base de los cálculos hechos en b, se construye en el gráfico la curva $\nabla'Cr=f_8(D)$ que debe cortarse con la curva $\nabla'Cr=f_6(D)$ en un punto C.

Resulta fácil apreciar que, para los supuestos anotados, los parámetros del túnel (∇Cr , D y ∇NBs , etc.) deben ser tomados respecto a la vertical que pasa por el punto C; precisamente para esta condición el desnivel de la ataguía parcial será igual a 2-3m; al mismo tiempo, para el flujo de Q_{max} el llenado del túnel será $0.7D$.



De acuerdo a las gráficas se obtiene que el diámetro económico óptimo es de $D=13m$, pero para mantener una altura razonable de la ataguía y una velocidad de flujo de alrededor de 13 m/s, se ha elegido un diámetro interno de 12 m; este valor es menor que el diámetro óptimo de 13 m para el cual se obtiene una velocidad mayor a la velocidad máxima ante citada.

Desde el punto de vista del costo, conforme se desprende de la figura 28 el incremento del costo por el ajuste del diámetro no es superior al 6%.

La información utilizada para construir las curvas del análisis técnico económico están presentadas en las tablas 23, 40 y 41.

CAPÍTULO 6

DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA DEL SISTEMA DE DESVÍO DEL PROYECTO CHONTAL

6.1 Formulación (presentación) del modelo de PROTODYAKONOV

La excavación del túnel de desvío del Proyecto Chontal, como cualquier excavación subterránea, modificará el estado tensional original en la roca colindante, consecuentemente, originará el surgimiento de esfuerzos de tracción y, por consiguiente, deformaciones en la roca, concordantes con sus indicadores geomecánicos; estas deformaciones en determinados sectores podrían dar lugar al desprendimiento de la clave y desplazamiento de las paredes laterales. Para evitar estos fenómenos inadmisibles, en el contorno de la excavación se ejecuta el revestimiento del túnel, calculado para la presión de la roca deformable a la que denominaremos *presión de roca*.

En consecuencia, adelante por *presión de roca* asumiremos a las fuerzas producidas en la roca circundante a la excavación del túnel de desvío del Proyecto Chontal y que pueden dar lugar a deformaciones de esta roca. Independiente de la clasificación geomecánica, que es empírica, la *presión de roca* en rigor depende de factores como: a) propiedades geomecánicas de la roca; b) reología e hidrogeología; c) forma y dimensiones de la sección transversal de excavación; d) ubicación del eje de trazado; e) tiempo transcurrido desde la conclusión de la excavación hasta ejecución del revestimiento.

La determinación analítica de la *presión de roca* es posible únicamente por métodos aproximados válidos para diseños de factibilidad y para diseño definitivo de proyectos pequeños y medianos, como el proyecto Chontal; para el diseño definitivo de proyectos de magnitud importante la *presión de roca* se determina experimentalmente in situ en la excavación del túnel; existen también métodos de laboratorio.

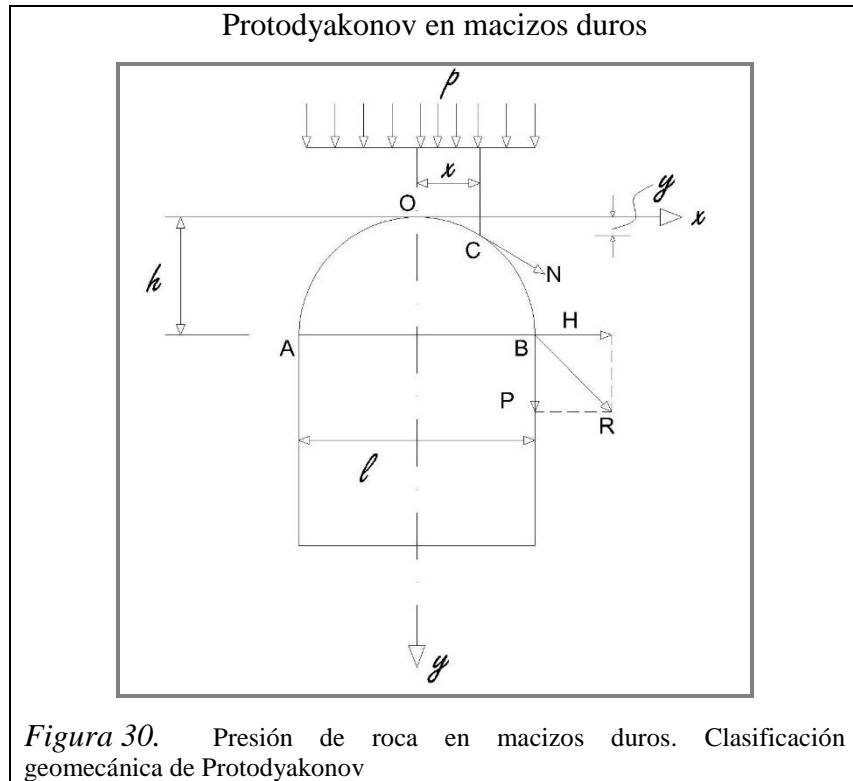
Los métodos existentes para determinar la *presión de roca* están basados en diferentes premisas de simplificación. En unos se asume una distribución hidrostática

de la *presión de roca* que varía con la profundidad,; en otros se asigna a las rocas propiedades de material no cohesionado; en un tercer grupo se basan en la Teoría de la Elasticidad a partir de la premisa de rocas isotrópicas y elásticas; en un cuarto grupo se considera el proceso de formación en la roca de una cúpula natural, sobre la excavación; los últimos métodos en la práctica han sido los de mayor aceptación y entre ellos un método reconocido y validado desde el primer tercio del siglo pasado, particularmente en Europa Oriental, ha sido y es el de M. M. Protodyakonov.

La premisa fundamental de la Teoría de Protodyakonov es la formación de la cúpula de desprendimiento; además, se considera la posibilidad de aplicar, al macizo en el que se ejecuta la excavación, las leyes de los materiales no cohesionados, con la introducción, en lugar del coeficiente real de fricción, de un *coeficiente de fricción total o aparente*, el mismo que considera a más de las fuerzas de fricción también las de cohesión entre partículas; este criterio fue denominado por Protodyakonov *coeficiente de dureza del material* f_{dur} ; los límites entre los cuales varían los valores del *coeficiente de dureza* son amplios, de 0,3-0,6 para suelos hasta 20 o más para rocas como basaltos, porfiritas, etc.; este coeficiente abarca todas las categorías de macizos de cimentación que se encuentran en excavación de túneles, tanto en zonas planas como en zonas montañosas.

M. M. Protodyakonov consideró dos esquemas básicos de *presión de roca*: 1) para macizos duros, cuando la presión lateral prácticamente está ausente o es muy pequeña; 2) para macizos suaves, cuando coexisten presiones verticales y laterales.

En el primer esquema básico (Fig. 30) se asume que, sobre una excavación rectangular en túnel de frente l , una parte del macizo entrando en movimiento se desprende (se derrumba). El límite de la zona de desprendimiento será una cúpula AOB en la que puede considerarse que, esfuerzos de tracción son inexistentes, en tanto que los de compresión están dentro de límites permisibles. En este caso el componente vertical de la *presión de roca* está dado por el peso de la roca en el volumen AOB .



La forma de la cúpula se puede determinar aproximadamente de la condición de su equilibrio, bajo carga uniformemente distribuida p desde la roca ubicada arriba, bajo el supuesto de ausencia de momentos en la cúpula y sea presencia solo de compresión central por la fuerza N . El equilibrio de un tramo cualquiera OC , seccionado en el punto C , al cual está aplicada una fuerza horizontal H y una fuerza longitudinal N , que reemplaza la acción de las partes eliminadas de la cúpula, puede ser expresado a través de la igualdad a “0” e la suma de momentos de todas las fuerzas respecto al punto “C” con coordenadas x e y :

$$Hy - \frac{1}{2} px^2 = 0 \quad .1$$

De donde: $y = \frac{px^2}{2H} \quad .1a$

En consecuencia, la curva AOB es una parábola.

Para determinar la componente horizontal H consideremos la condición de resistencia de los extremos de la cúpula A y B . En el extremo B , por ejemplo, actúa la componente horizontal H y la reacción vertical $P = 0,5 pl$.

Para garantizar la estabilidad de la cúpula es necesario que se cumplan las condiciones:

$$H \leq f_{dur} P \quad \text{o}$$

$$H \leq 0,5 pl f_{dur} \quad 2$$

En otras palabras con un factor que duplique la seguridad de resistencia:

$$H = 0,25 pl f_{dur} \quad 3$$

Reemplazando en la fórmula .1 el valor de H tomado de la expresión .3, se obtiene:

$$y = \frac{2x^2}{(f_{dur}l)} \quad 4$$

Para $x = 0,5l$ y $y = h$ tenemos la altura de la cúpula parabólica que caracteriza la *presión de roca*:

$$h = \frac{l^2}{(2f_{dur}l)} = \frac{l}{(2f_{dur})} \quad 4a$$

El componente vertical de la *presión de roca* sobre un soporte horizontal, aplicada por cada metro de túnel, resulta sencillo obtener si se conoce el peso volumétrico de

la roca γ y la superficie de la cúpula de desprendimiento $\omega = \frac{2}{3} lh$:

$$Q = \gamma \omega = \gamma \frac{2}{3} lh = \frac{\gamma l^2}{(3f_{dur})} \quad 5$$

El valor medio del componente vertical de la *presión de roca* será:

$$q = \frac{\gamma h}{(3 f_{dur})} \quad 6$$

En las normas de los países en los que se utiliza la teoría de Protodyakonov se asume:

$$q = \frac{\gamma h}{(2 f_{dur})} = \gamma h \quad 6a$$

En las mismas normas para los casos de soporte circular del túnel se recomienda:

$$q_1 = 0,7q \quad .7$$

El f_{dur} depende de la resistencia a compresión simple (RCS), el ángulo de rozamiento interno (ϕ) y la cohesión (c) del terreno, de forma que para rocas, f_{dur} vale una décima parte de la resistencia a compresión simple (en MPa), mientras que para suelos se toma $f = \tan \phi + c/RCS$. Los valores recomendados en las normas para diferentes tipos de macizos naturales se indican en la siguiente tabla.

Tabla 24. *Coefficientes de dureza de Protodyakonov*

Categoría	Descripción	f
Excepcional	Cuarcita, basaltos y rocas de resistencia excepcional	20
Alta resistencia	Granito, areniscas silíceas y calizas muy competentes	15-10
Resistencia media	Caliza, granito algo alterado y areniscas	8-6
	Areniscas medias y pizarras	5
	Lutitas, areniscas flojas y conglomerados friables	4
	Lutitas y esquistos, margas compactas	3
Resistencia baja	Calizas y lutitas blandas, margas, areniscas friables, gravas y bolos cementados, morrenas	2
	Terrazas, lutitas fisuradas y rotas, gravas compactas y arcillas preconsolidadas	1,5
Resistencia muy baja	Arcillas y gravas arcillosas	1,0
	Suelos vegetales, turbas y arenas húmedas	0,6
	Arenas y gravas finas, derrubios	0,5
	Limos, loess, fangos, etc.	0,3

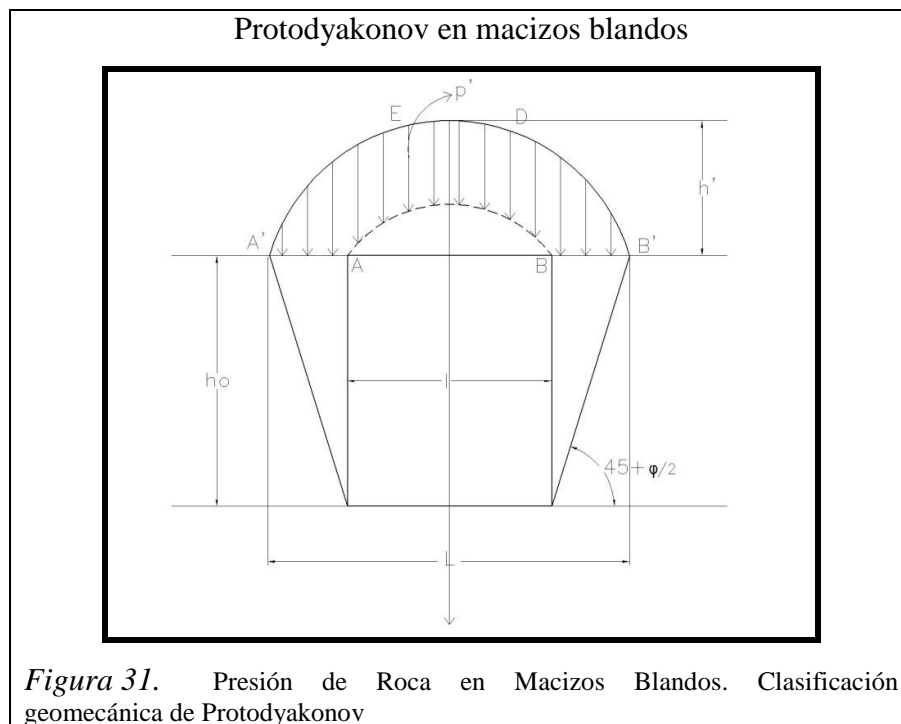
Nota: Clasificación-geomecanica-de-Protodyakonov

Se realizaron los cálculos para dos valores del coeficiente de dureza

$f=12$

$f=6$

En el segundo esquema básico, para condiciones de macizos de cimentación relativamente blandos, donde es posible el surgimiento de superficies laterales de desprendimiento, las dimensiones de la cúpula de desprendimiento se incrementan.



El frente de dicha cúpula, en este caso es sensiblemente mayor que el frente de excavación y, de acuerdo a Protodyakonov, puede ser determinado por la expresión:

$$L = l + 2h_o \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi/2), \quad 8$$

Donde:

l , frente de la excavación,

h_o , altura de la excavación,

φ , ángulo de fricción del material del macizo de cimentación.

La altura de la cúpula de desprendimiento A' O' B' se determina en forma análoga al primer esquema, pero considerando el nuevo frente de dicha cúpula:

$$h' = L/(2f_{dur}) \quad 9$$

La carga vertical sobre la parte superior del revestimiento del túnel se asume igual a la superficie AEDB, multiplicada por el peso específico del macizo de cimentación γ y por la unidad de longitud del túnel:

$$Q' = 2/3 \gamma h' l + \gamma (h' - h_o) l, \quad 10$$

Tomando en cuenta las ecuaciones .8 y .9, se puede escribir:

$$Q' = 2/3 \gamma h' l + \gamma l h_o \operatorname{tg}(45^\circ - \phi/2)/f_{dur} \quad 11$$

La carga sobre el prisma de desprendimiento, para determinar la presión lateral, puede ser expresada de la siguiente manera:

$$q = \frac{(2/3) \gamma L h' - Q'}{2(L-l)} = \frac{(2/3) \gamma L h' - Q'}{L-l} \quad 12$$

El empuje lateral sobre la pared de altura h_o será igual a:

$$E = (1/2) h_o (2q + \gamma h_o) \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \phi/2) \quad 13$$

Para $f_{dur} > 3$ se recomienda asumir $L = l$

6.2 Correlación de la clasificación geomecánica con el modelo de Protodyakonov

Como complemento a lo indicado en el punto 6.1, cabe destacar que la caracterización generalizada de las propiedades geotécnicas de las rocas propuesta por M.M. Protodyakonov hace casi 100 años no ha perdido su vigencia a pesar de que en la actualidad existen varios métodos y sistemas de clasificación de rocas como macizos de implantación de diferentes obras civiles tanto superficiales como

subterráneas como el RMR de Bieniawsky y mel “Q” del Instituto Geotécnico de Noruega.

1. Clasificación Geomecánica- Rock Mass Rating – RMR- (Bieniawski 1976)

Considera entre otros los siguientes parámetros de clasificación:

- Resistencia a compresión simple de la roca intacta
- RQD (Rock Quality Designation)
- Espaciamiento de discontinuidades
- Condición de las discontinuidades
- Condiciones de agua subterránea
- Orientación de discontinuidades

Tabla 25. *Determinación del RMR (Bieniawski 1989)*

Resistencia a la compresión simple, RSC, (MPa)	Puntaje
250	15
100-250	12
50-100	7
25-50	4
5-25	2
1-5	1
< 1	0

Nota: Parámetros para el cálculo del puntaje de acuerdo a la resistencia a la compresión simple

Tabla 26. *Puntaje del RQD*

R.Q.D %	Puntaje
90-100	20
75-90	17
50-75	13
25-50	8
< 25	3

Nota: Puntaje de acuerdo al RQD

Tabla 27. *Puntaje del espaciamiento de discontinuidades*

Espaciamiento de discontinuidades (m)	Puntaje
> 2	20
0,6 - 2	15
0,2 - 0,6	10
0,06 - 0,2	8
< 0,06	5

Nota: Puntaje de acuerdo a las discontinuidades

Tabla 28. *Puntaje de las condiciones de discontinuidades*

Condiciones de discontinuidades	Puntaje
Superficies muy rugosas, de poca extensión, paredes de roca resistente	30
Superficies poco rugosas, apertura menor a 1mm, paredes de roca resistente.	25
Superficies poco rugosas, apertura menor a 1mm, paredes de roca blanda.	20
Superficies suaves o relleno de falla de 1 a 5 mm de espesor o apertura de 1 a 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros.	10
Discontinuidades abiertas con relleno de falla de más de 5mm de espesor o apertura de más de 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros.	0

Nota: Puntaje de acuerdo a las condiciones de las discontinuidades

Tabla 29. *Agua subterránea*

Filtración por cada 10 metros de longitud de túnel (l/min)	Presión relativa del agua en la discontinuidad, respecto al esfuerzo principal máximo	Descripción de las condiciones generales	Puntaje
Nada	0	Completamente seco	15
< 10	0 – 0,1	Apenas húmedo	12
10 – 25	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25 – 125	0,2 – 0,5	Goteo	4
> 125	> 0,5	Flujo continuo	0

Nota: Puntaje de acuerdo a la presencia de agua

Tabla 30. *Corrección por orientación de discontinuidades*

Influencia de la orientación en la obra	Puntaje (Túneles)	Puntaje (Cimentaciones)
Muy favorable	- 0	0
Favorable	- 2	- 2
Medio	- 5	- 7
Desfavorable	- 10	- 15
Muy desfavorable	- 12	- 25

Nota: Puntaje de acuerdo a la orientación de las discontinuidades

Tabla 31. *Categorías de la clasificación RMR (Bieniawski 1989)*

RMR	Descripción del macizo rocoso	Clase
Suma de los valores de las tablas anteriores		
81 – 100	Muy bueno	I
61 – 80	Bueno	II
41 – 60	Medio	III
21 – 40	Malo	IV
0 – 20	Muy malo	V

Nota: Determinación de la clase de acuerdo a los resultados obtenidos.

Tabla 32. *Indicadores geomecánicos y características constructivas (Bieniawski 1989)*

Clase- (RMR)	c (kPas)	ϕ°	Tiempo sin soporte
I – (81-100)	>400	>45	20 años, para luz de 15 m
II – (61-80)	300-400	35-45	1 año, para luz de 10 m
III – (41-60)	200-300	25-35	1 semana, para luz de 5 m
IV- (21 –40)	100-200	15-25	10 horas, para luz de 2,50 m
V – (0 – 20)	<100	<15	30 min, para luz de 1 m.

Nota: Determinación de los indicadores geomecánicos

2. Clasificación geomecánica Rock Tunnelling Quality Index - Sistema “Q” (Barton y otros, 1974)

Este sistema de clasificación fue desarrollado por el Instituto Geotécnico de Noruega; está basado en casos concretos en Escandinavia.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

J_n : índice de diaclasado (n es el número de familias de discontinuidades);

J_r : Índice de rugosidad de las discontinuidades;

J_a : Índice de alteración de las discontinuidades;

J_w : Factor de reducción por presencia del agua;

SRF: Factor de reducción por tensiones.

$\frac{RQD}{J_n}$ Considera el tamaño de los bloques presentes

$\frac{J_r}{J_a}$ Considera la rugosidad y la resistencia al corte de las diaclasas.

$\frac{J_w}{SRF}$ Considera las tensiones activas, presión de agua y estado tensional para los diferentes tipos de macizos encontrados.

Tabla 33. *Parámetros del sistema “Q” (Barton y otros, 1974)*

Índice de diaclasado J_n	Valor
Roca masiva	0,5 - 1
Una familia de diaclasas	2
Una familia de diaclasas, otras diaclasas ocasionales	3
Dos familias de diaclasas	4
Dos familias de diaclasas, otras diaclasas ocasionales	6
Tres familias de diaclasas	9
Tres familias de diaclasas, otras diaclasas ocasionales	12
Cuatro o más familias, roca muy fracturada	15
Roca triturada	20

Nota: Tabla donde se indican los Parámetros del sistema “Q” (Barton y otros, 1974)

Tabla 34. *Índice de rugosidad*

Índice de rugosidad J_r	Valor
Diaclasas rellenas	1
<i>Diaclasas limpias:</i>	
Discontinuas	4
Onduladas rugosas	3
Onduladas lisas	2
Planas rugosas	1,5
Planas lisas	1
<i>Lisos o espejos de falla:</i>	
Ondulados	1,5
Planos	0,5

Nota: Tabla donde se indica el índice de rugosidad

Tabla 35. *Índice de alteración*

Índice de alteración J_a	Valor
Diaclasas de paredes sanas	0,75- 1
Ligera alteración	2
Alteraciones arcillosas	4
Con detritos arenosos	4
Con detritos arcillosos preconsolidados	6
Con detritos arcillosos poco consolidados	8
Con detritos arcillosos expansivos	8 - 12
Milonitos (productos de trituración de roca y arcilla)	6- 12
Milonitos de arcilla limosa	5
Milonitos arcillosos gruesos	10- 20

Nota: Tabla donde se indica el índice de alteración

Tabla 36. *Coefficiente reductor*

Coefficiente reductor por la presencia de agua J_w	Presión de agua, kPas	Valor
Excavaciones de secas a menos de 5 l/min	<1	1
Afluencia media con lavado de algunas diaclasas	1-2,5	0,66
Afluencia importante por diaclasas limpias	2,5 - 10	0,5
Afluencia importante con lavado de diaclasas	2,5 - 10	0,33
Afluencia inicial excepcional y decreciente en el tiempo.	>10	0,2 - 0,1
Afluencia excepcional inicial, mantenida en el tiempo	>10	0,1- 0,05

Nota: Tabla donde se indica el coeficiente reductor

Tabla 37. *Parámetro SRF*

Parámetro SRF	Valor
<i>Zonas débiles</i>	
Multitud de zonas débiles	10
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura ≤ 50m)	5
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura > 50m)	2,5
Abundantes zonas débiles en roca competente	7,5
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura ≤ 50m)	5
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura > 50m)	2,5
Terreno en bloques muy fracturados	5
<i>Roca competente</i>	
Pequeña cobertura $\sigma_c / \sigma_1 > 200$	2,5
Cobertura media $200 > \sigma_c / \sigma_1 > 10$	1
Gran cobertura $5 \leq \sigma_c / \sigma_1 < 10$	0,5 - 2
<i>Terreno fluyente</i>	
Con altas presiones	5-10
Con bajas presiones	10-20

Parámetro SRF	Valor
<i>Terreno expansivo</i>	
Con presión de hinchamiento moderada	5-10
Con presión de hinchamiento alta.	10-15

Nota: Tabla donde se indica los parámetros SRF

Tabla 38. *Clasificación por el sistema “Q” (Barton y otros, 1974)*

Tabla de clasificación final “Q”	Valor
Excepcionalmente malo	<0,01
Extremadamente malo	0,01-0,1
Muy malo	0,1- 1|
Malo	4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100-400
Excepcionalmente bueno	>400

Nota: Tabla donde se indica la clasificación por el sistema Q

3. Observaciones de los sistemas RMR y “Q”

Entre las observaciones que caben hacer respecto a los sistemas de clasificación de Bieniawsky y “Q”, se debe destacar:

- En su concepción original proponen una clasificación geomecánica integral para diseño y ejecución de obras civiles, prescindiendo considerar las características geométricas de dichas obras que, sin lugar a duda inciden en el estado tensión – deformación del macizo rocoso, particularmente en el caso de los túneles; en estos casos el diámetro geométrico o ponderado de la excavación es decisivo en la magnitud y distribución de esfuerzos y deformaciones así como para dimensionar soportes y revestimientos.
- Tienen alto grado de subjetividad y requieren de una importante experiencia.

4. Base conceptual del sistema de PROTODYAKONOV

Originalmente Protodyakonov propuso su sistema de clasificación geomecánica a partir de la valoración del trabajo o energía requeridos para la extracción de minerales. Él supuso que para cualquier procedimiento de fragmentación de la roca y método de extracción se puede clasificar al material a través de un coeficiente

promedio de procesamiento (extracción). Es decir, si un tipo de roca requiere mayor energía para su fragmentación que otro, entonces la primera roca tendrá un más alto indicador de dureza.

Para desarrollar su sistema de clasificación M.M. Protodyakonov introdujo el concepto de “dureza” de la roca, a diferencia del concepto de resistencia del material, cuantificada por uno de los tipos del estado tensión- deformación, por ejemplo resistencia a la ruptura por compresión, tracción, corte. De esta manera Protodiakonov elaboró la escala del coeficiente de dureza de las rocas.

Los procedimientos aplicados actualmente para determinar el coeficiente de dureza f de las rocas han sido suficientemente validados y tienen aplicación confiable.

Entre los métodos para determinar el coeficiente de dureza f de mayor difusión ha tenido el método de ensayo de resistencia de la roca a la compresión axial σ_c ; a partir de dicha resistencia el coeficiente de Protodyakonov se ha obtenido con la relación:

$$f = 0,1\sigma_c \quad (a)$$

Esta ecuación establece una correlación confiable entre el coeficiente de dureza y la resistencia axial a la compresión. Sin embargo, a partir de la práctica de diseño y construcción de obras subterráneas, en la segunda mitad del siglo pasado, particularmente en lo que fue Europa Oriental, la ecuación anterior ha sido mejorada por L.I. Baronom, quien obtuvo la siguiente expresión:

$$f_b = \frac{\sigma_c + 10\sigma_{c1}}{60} + \sqrt{\frac{\sigma_c + 10\sigma_{c1}}{12}} \quad (b)$$

Donde, σ_c y σ_{c1} resistencia a la compresión axial de muestras rocosas con geometría regular e irregular, respectivamente.

También existen métodos de correlación múltiple para determinar el coeficiente de dureza, como el propuesto por la Universidad Estatal de Geotecnia de Moscú; en este

caso la correlación se ha establecido entre el coeficiente de dureza, la resistencia a la compresión y la velocidad de difusión de ondas elásticas

$$\sigma_c = k_1 \cdot C^2,$$

(c)

$$f = k_2 \cdot C^2$$

En las ecuaciones (c):

C, es la velocidad de difusión de ondas longitudinales de ultrasonido;

k₁ y k₂ son coeficientes de proporcionalidad.

Para el presente trabajo de grado el coeficiente de dureza se ha obtenido a partir de la ecuación (a) y la escala de Protodyakonov.

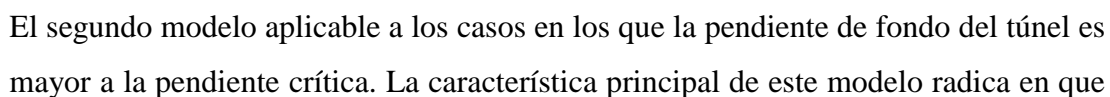
5. Observaciones al sistema de PROTODYAKONOV

- a) El sistema de Protodyakonov no solo permite clasificar la roca por su dureza sino que, además, incluye el procedimiento para determinar la presión de roca, previas identificación de la cúpula de desprendimiento sobre la cavidad excavada en el macizo rocoso;
- b) Precisamente es el procedimiento para determinar la presión de roca el que incluye la consideración de la geometría de la obra subterránea a través del diámetro de excavación;
- c) El sistema de Protodyakonov al igual que los sistemas RMR y Q, es empírico.

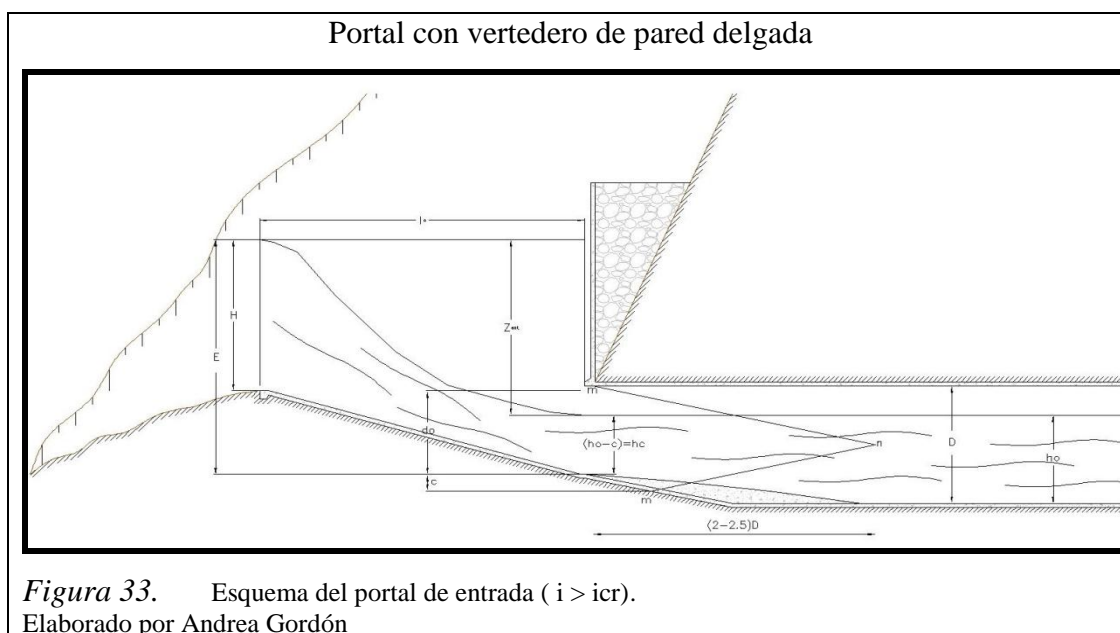
6.3 Esquemas hidráulicos aplicables al sistema de desvío del proyecto Chontal para los portales de entrada y salida del túnel de desvío

Para el diseño de los portales de entrada a los túneles de desvío no existe una teoría general definida; por esta razón en el caso de proyectos importantes es necesario recurrir a estudios en modelos hidráulicos a fin de lograr configuraciones y

El primer modelo aplicable para túneles con pendiente de fondo inferior a la pendiente crítica se caracteriza por tener un portal de entrada que funciona como un vertedero rectangular de pared ancha, a continuación del cual se incluye un tramo de transición entre la sección del flujo rectangular del portal y la sección de flujo circular en el túnel de desvío; en este modelo al igual que en los otros dos se tiende a lograr que las velocidades de flujo en el portal y en el túnel sean aproximadamente las mismas.



la cresta del vertedero de entrada es sobre elevada respecto al fondo del sitio de compuertas.



El tercer modelo propuesto por Kadomsky es aplicable a casos en los que la pendiente del fondo del canal es mucho más alta que la pendiente crítica; en este caso para evitar una exagerada sobre elevación de la cresta del vertedero de entrada se incluye una pantalla de hormigón frente al orificio de compuertas.

Considerando las condiciones del proyecto Chontal y tomando en cuenta que la pendiente es mayor o menor que la crítica se adopta el segundo modelo del portal.

6.4 Análisis geomecánico del túnel de desvío del proyecto Chontal con el sistema de Protodyakonov

Una vez realizado el análisis geomecánico del túnel para las dos opciones que plantea Protodyakonov se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 39. *Presión de Roca en Macizos Duros*

fdur	h(m)	$\omega(m^2)$	Q (T/m)	q (T/m ²)	q (Protodiakonov)	q1 (circular)	q1 (circular) Protodiakonov
12	0,51667	4,27111	11,532	0,93	1,395	0,651	0,9765
6	1,03333	8,54222	23,064	1,86	2,79	1,302	1,953

Nota: Tabla donde se indica la presión de Roca en Macizos Duros

Donde:

fdur: Coeficiente de dureza del material

h: Altura de la cúpula

ω: Superficie de la cúpula de desprendimiento

Q: Componente vertical de la presión de roca

q: Valor medio de la presión de roca

ql: Valor medio de la presión de roca en casos de soporte circular

6.5 Análisis hidráulico del sistema de desvío del proyecto Chontal

En los cálculos hidráulicos se hace referencia a fórmulas de uso común en lo que se refiere a las pérdidas de carga hidráulica para el diseño de los detalles del túnel y de las obras de entrada y salida.

Como máximo caudal de proyecto se asume un valor de $Q = 1242 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a un periodo de retorno de 10 años y se considera adecuado para la construcción de la presa principal, tomando en cuenta que es una presa de hormigón.

Para el cálculo de las pérdidas distribuidas se han realizado varios análisis preliminares, asumiendo diferentes valores de rugosidad para el concreto. Teniendo en cuenta que dicho túnel va a funcionar solo durante la construcción de la presa principal, se ha asumido un valor del coeficiente n de Manning igual a 0.014, que es congruente con los valores comúnmente adoptados para ese tipo de obras hidráulicas.

Como ya se ha dicho, las obras de desvío deben ser diseñadas para asegurar el flujo de la crecida del Río Guayllabamba correspondiente a un tiempo de retorno de 10 años sin incrementar inútilmente el costo total del sistema.

6.5.1 Túnel de desvío

En el capítulo 3 se adoptó la alternativa de un túnel ubicado en la margen izquierda del río Guayllabamba para el desvío del caudal de construcción.

En el capítulo 4 se seleccionó la opción del túnel circular con flujo de superficie libre.

La definición del diámetro del túnel de desvío con flujo de superficie libre fue producto de un análisis técnico - económico en el que por una parte intervinieron los costos del túnel que se incrementa con su diámetro y, por otra parte, los costos de las ataguías que se incrementan con la disminución del diámetro (capítulo 5.2).

Para definir la configuración en planta del túnel, su longitud y ubicación se han considerado las características hidrológicas del Río Guayallabamba, la topografía y geología del área en cuestión; por estas consideraciones se ha elegido una ubicación en planta con dos curvas de radio $R = 40$ m, cota de entrada = 667.00 msm, cota de salida = 664.00 msm y una longitud total de 402.72 m, sin tomar en cuenta las obras de entrada y de salida.

Para el dimensionamiento del túnel se ha elegido una sección circular.

En definitiva para los cálculos de diseño se han establecido los siguientes parámetros:

1. Caudal máximo con un tiempo de retorno de 10 años ($1242 \text{ m}^3/\text{s}$).
2. Coeficiente de Manning del hormigón del revestimiento ($n=0.014$).
3. Aceleración gravedad ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).
4. Longitud total del túnel de desvío ($L = 402.72 \text{ m}$).
5. Cota de fondo del túnel a la entrada ($a_2 = 667.00 \text{ msm}$).
6. Cota de fondo del túnel a la salida ($a_1 = 664.00 \text{ msm}$).
7. Diferencia de cotas $Z = 3.00 \text{ m}$ ($a_2 - a_1$).
8. Altura de seguridad entre el nivel del agua, arriba del túnel, y la cota de la corona de la atagúa ($a = 0.75 \text{ m}$).

Tabla 40. *Datos para encontrar diámetro óptimo*

Q, m³/s	1242	1242	1242	1242	1242	1242	1242	1242	1242
D, m	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
a=h/D	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
h, m	6,75	7,125	7,5	7,875	8,25	8,625	9	9,375	9,75
n	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
α	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
arcsen α, °	0,523598776	0,52359878	0,523598776	0,523598776	0,52359878	0,5235988	0,5235988	0,52359878	0,523598776
cos arcsen α	0,866025	0,8660254	0,8660254	0,866	0,866	0,866	0,866	0,866	0,866
ω, m²	40,762	45,417	50,324	55,482	60,892	66,553	72,466	78,631	85,047
χ	14,219	15,009	15,799	16,589	17,379	18,169	18,959	19,749	20,539
R, m	2,867	3,026	3,185	3,344	3,504	3,663	3,822	3,981	4,141
C, m^{1/2}s⁻¹	85,134	85,904	86,642	87,349	88,029	88,684	89,315	89,925	90,514
v, m/s	30,469	27,347	24,680	22,386	20,397	18,662	17,139	15,795	14,604
i	0,045	0,033	0,025	0,020	0,015	0,012	0,010	0,0077	0,0063
E	54,068	45,241	38,546	33,416	29,455	26,375	23,972	22,091	20,620
icr	0,00214	0,00210	0,00206	0,00203	0,00200	0,00197	0,00194	0,00192	0,00189
hl	17,995	13,487	10,259	7,909	6,171	4,868	3,880	3,121	2,532
Zen	47,318	38,116	31,046	25,541	21,205	17,750	14,972	12,716	10,870
Zo	65,313	51,603	41,305	33,450	27,375	22,619	18,852	15,837	13,402
NAAr	70,713	57,003	46,705	38,850	32,775	28,019	24,252	21,237	18,802
NB1	23,395	18,887	15,659	13,309	11,571	10,268	9,280	8,521	7,932
Cr	16,645	11,762	8,159	5,434	3,321	1,643	0,280	-0,854	-1,818

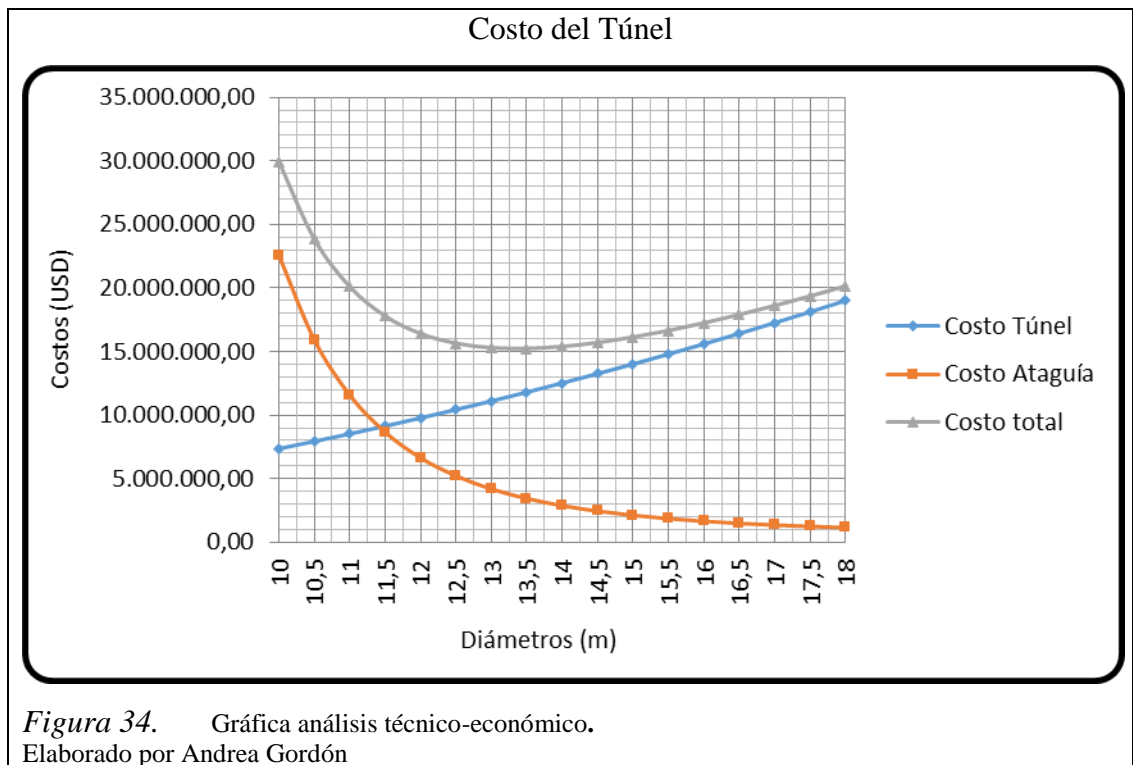
Nota: Elaborado por Andrea Gordón

Tabla 41. Costo del Túnel

D (m)	Aexc. (m ²)	V exc (m ³)	Valor Exc (USD/m ³)	Cexc (USD)	A reves (m ²)	V reves (m ³)	Valor reves (USD/m ³)	Crev (USD)	CT= Cexc+Crev
9	83,32	33555,79473	130,02	4362924,43	19,71	7935,85531	240,69	1910081,01	6273005,444
9,5	91,61	36892,71276	130,02	4796790,513	20,73	8347,03952	240,69	2009048,94	6805839,456
10	100,29	40387,77857	130,02	5251218,97	21,75	8758,22373	240,69	2108016,87	7359235,84
10,5	109,36	44040,99215	130,02	5726209,8	22,77	9169,40795	240,69	2206984,8	7933194,599
11	118,82	47852,35351	130,02	6221763,004	23,79	9580,59216	240,69	2305952,73	8527715,731
11,5	128,68	51821,86264	130,02	6737878,581	24,81	9991,77637	240,69	2404920,66	9142799,236
12	138,93	55949,51955	130,02	7274556,532	25,83	10402,9606	240,69	2503888,58	9778445,115
12,5	149,57	60235,32423	130,02	7831796,856	26,85	10814,1448	240,69	2602856,51	10434653,37
13	160,61	64679,27668	130,02	8409599,555	27,87	11225,329	240,69	2701824,44	11111423,99
13,5	172,03	69281,37691	130,02	9007964,626	28,89	11636,5132	240,69	2800792,37	11808756,99

Nota: D = diámetro. Aexc = área de excavación. Vexc = volumen de excavación. Cexc = costo de excavación. Areves = área de revestimiento. Vreves = volumen de revestimiento. Vreves = costo de revestimiento. CT = costo total del túnel.

Elaborado por Andrea Gordón



6.5.2 Portales de entrada y de salida

Para el diseño de los portales de entrada y salida se realizó el diseño de un muro que ayudara a la estabilización de los taludes.

Diseño del muro lateral del portal de entrada:

DATOS:		
$\gamma =$	18	Kn/m^3
$\gamma_o =$	9,81	Kn/m^3
$\gamma_{ho} =$	24	Kn/m^3
$\phi =$	35	
$f =$	0,58	
$H =$	13	m
$c =$	30	
$n =$	0,28	

$$a = H/12$$

$$a = 1.08$$

$$\text{Asumo: } a = 1\text{m}$$

$$B = (0,5 - 7)H$$

$$B = 0,6H$$

$$B = 7.8$$

$$\text{Asumo } B = 8\text{m}$$

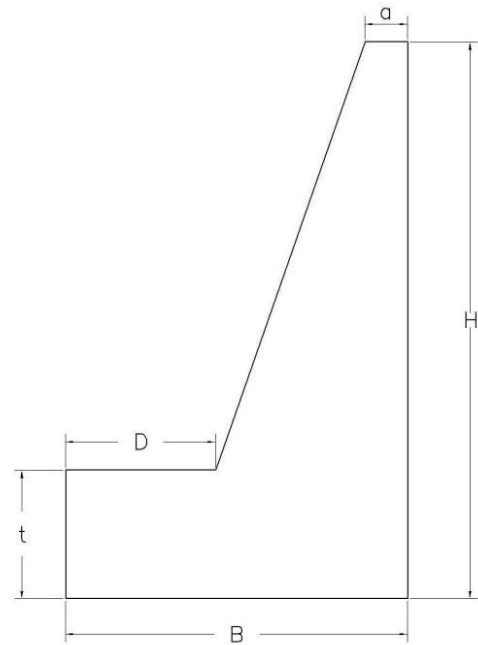
$$D = H/6 - H/8$$

$$D = H/6$$

$$D = 2,17$$

$$\text{Asumo } D = 3,5\text{ m}$$

$$t = 2,5\text{ m}$$

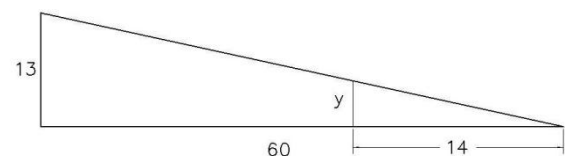


- **Determinación de la altura de relleno sumergido tras el muro h_s**

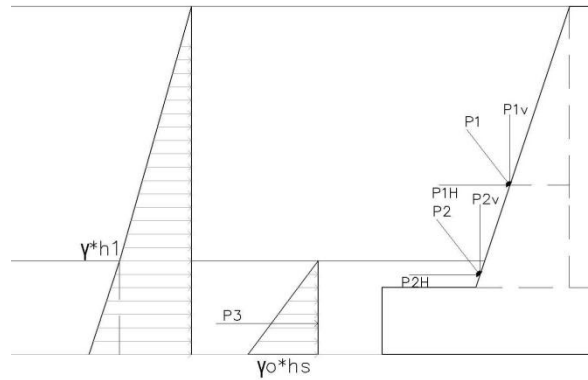
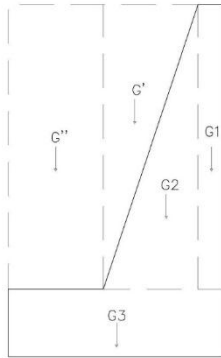
$$13/60 = h_s/14$$

$$h_s = 3.03$$

$$\text{Asumo } h_s = 3,5\text{ m}$$



- **Determinación de fuerzas**
- **Cálculo de fuerzas verticales**
- **Fuerza de Gravedad (G)**



$$G_1 = a(H - t)\gamma_{ho}$$

$$G1=228\text{kN/m}$$

$$G_2 = \frac{1}{2}(B - D)(H - t)\gamma_{ho}$$

$$G2=399 \text{ kN/m}$$

$$G_3 = B * t * \gamma_{ho}$$

$$G3=672 \text{ kN/m}$$

• Verificación de Estabilidad al Deslizamiento

$$f= 0,58$$

$$F.S.D. = \frac{\sum N * f + cb}{\sum T}$$

$$F.S.D.=(G1+G2+G3+Pv+P1v+P2v-W)*f/(P1H+P2H+P3)$$

$$F.S.D.= 1,72762543$$

$$F.S.D \geq (F.S.D)_{per.}$$

- Verificación de esfuerzos

Tabla 42. *Resultados de Fuerzas y Momentos*

	Fuerza (V) KN	Fuerza (H) KN	Brazo m		M+ KN-m	M- KN-m
G1	228		3,5	+	798	
G2	399		1,83333333	+	731,5	
G3	672		-		-	-
G'	330,75		0,67	+		220,5
G''	661,5		2,25	-		1488,375
P1v	188,9872976		0,88888889	-		167,988709
P2v	162,1957769		0,34119146	-		55,33981334
W	1020,24		-		-	-
P1H		260,740724	6,66666667	+	1738,2715	
P2H		223,777179	2,97642563	+	666,05613	
P3		60,08625	1,16666667	+	70,100625	
Σ=	1622,193075				4003,9282	1932,203522

Nota: Resultados de las fuerzas y momentos que actúan en el muro

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N}$$

$$e = 1,27711353$$

- Verificación de Resistencia

$$\sigma_{max/min} = \frac{V}{b} \left(1 \pm \frac{6e}{b} \right)$$

$$\sigma_{max} = 396,998327 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{min} = 8,5499415 \text{ kN/m}^2$$

Diseño del Talón

$$a = H/12$$

$$a = 1.0833$$

$$\text{Asumo: } a = 1 \text{ m}$$

$$B = (0,5 - 0,7)H$$

$$B = 0,6H$$

$$B = 7.8$$

$$\text{Asumo } B = 8 \text{ m}$$

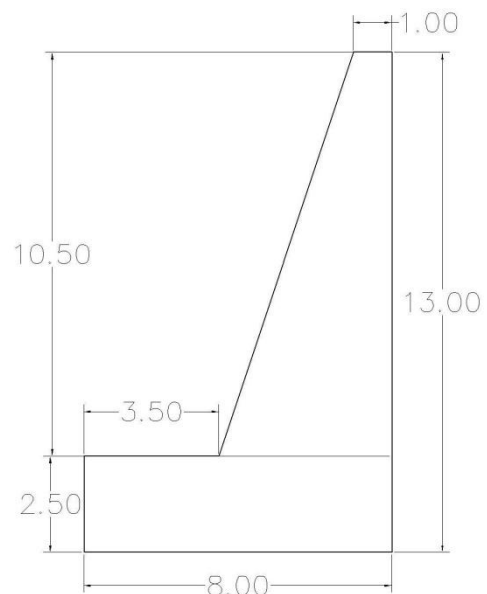
$$D = H/6 - H/8$$

$$D = H/6$$

$$D = 2.1667$$

$$\text{Asumo } D = 3,5 \text{ m}$$

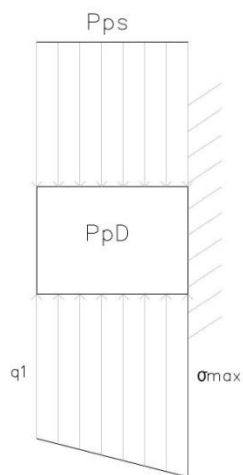
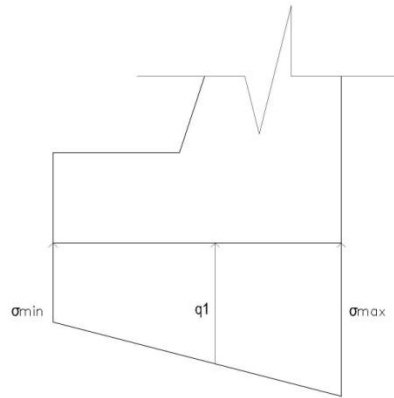
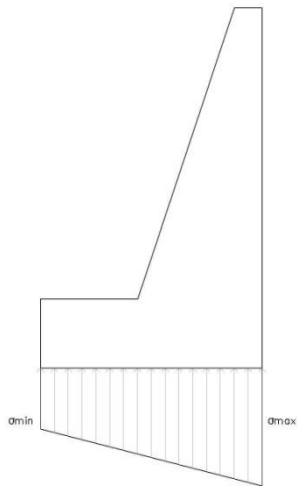
$$t = 2,5 \text{ m}$$



- **Cálculo de esfuerzo x=3.5**

$$\sigma_{\max} = 396,99833$$

$$\sigma_{\min} = 8,5499415$$



$$P_{pD} = 210 \quad \text{kN/m}$$

$$P_{ps} = 661,5 \quad \text{kN/m}$$

PpD: Peso propio del dedo

Pps: Peso propio del suelo

$$M_u = 1,4D + 1,7L + 1,7H \quad 1,7L = 0 \quad \text{NO POSEO SOBRECARGA}$$

$$M_u = 6810,92383 \quad \text{kN-m}$$

$$k = \frac{M_u}{\phi * b * f'c * d^2}$$

$$k = 0,0172948$$

$$w = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 2.36k}}{1.18}$$

$$w1 = 1,6774403$$

$$w2 = 0,0175$$

$$As = \rho * b * d$$

$$As = \rho_{min} * b * d$$

$$As = 0,8505 \text{ cm}^2 \quad \longrightarrow \quad 3\phi 32 @ 50\text{cm}$$

$$S = 50$$

$$A_{temp} = 0,0018b * d$$

$$A_{temp} = 0,4374 \text{ cm}^2 \quad \longrightarrow \quad 6\phi 16 @ 20\text{cm}$$

$$S = 20$$

6.5.3 Ataguías aguas arriba

$$H_{At} = \nabla N A A r + 1$$

$$F_{At} = (10 + 3H_{At})H_{At}$$

$$W_{At} = F_{at} B_m$$

En la siguiente tabla se detalla el cálculo de la altura de la ataguía aguas arriba

Tabla 43. *Cálculo altura ataguía aguas arriba*

Q, m³/s	1242	1242	1242	1242	1242	1242	1242	1242	1242
D, m	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
Hat	71,46	57,75	47,45	39,60	33,53	28,77	25,00	21,99	19,55
Fat	16035,67	10583,74	7230,40	5100,46	3707,13	2770,63	2125,26	1670,16	1342,31
Bm	62,50	62,50	62,50	62,50	62,50	62,50	62,50	62,50	62,50
Wat	1002229,32	661483,56	451900,17	318778,70	231695,45	173164,25	132828,93	104384,74	83894,65

Nota: Elaborado por Andrea Gordón

Donde:

Q: Caudal de diseño

D: Diámetro

Hat: Altura de la ataguía aguas arriba

Fat: Área de la sección de la ataguía

Bm: Longitud media de la ataguía

Wat: Volumen de la ataguía

6.5.4 Ataguía aguas abajo

En correspondencia del caudal de diseño (1242 m³/s) el túnel descarga la crecida en el Río Guayallabamba, aguas abajo del sitio de la presa. Para que su remanso no inunde el área de construcción, se necesita de una ataguía aguas abajo de altura adecuada. La ataguía será de materiales sueltos con talud h/v de 1:1.5.

6.6 Análisis estructural y dimensionamiento del revestimiento del túnel

La metodología de este capítulo está basada en tres premisas básicas:

- El revestimiento es asumido como una construcción plana de barras, trazada respecto al eje geométrico de la sección transversal del revestimiento;
- El medio natural del contorno es reemplazado por barras de apoyo elásticas independientes, no unidas entre ellas; una parte de las barras es perpendicular al revestimiento (modelan la reacción elástica del macizo) y otra parte tiene dirección tangencial (para modelar las fuerzas de fricción entre el revestimiento

y el macizo); frecuentemente la fricción se desprecia, en consecuencia no se incluyen las barras tangenciales;

- c) Las barras de apoyo perpendiculares al revestimiento soportan únicamente cargas de compresión (o sea que la construcción es asumida como un sistema con enlaces de un solo lado).

Además, en una serie de casos se introducen simplificaciones adicionales que facilitan el análisis pero que inciden marginalmente en los resultados (por ejemplo el eje circular es reemplazado por otro poligonal, la carga distribuida por varias cargas puntuales, etc.)

En algunos casos se incluye la consideración aproximada de las fuerzas tangenciales, a través del giro de las barras de apoyo que modelan el entorno, de tal manera que el ángulo entre la perpendicular al revestimiento y la barra sea igual al ángulo de fricción entre el revestimiento y el macizo.

El macizo en el cual se encuentra la obra, no solo genera carga sino que presenta resistencia a los desplazamientos de las paredes de la estructura, disminuye los momentos flexores y eleva la capacidad portante de la estructura.

Para el análisis de una estructura subterránea considerando la resistencia elástica del macizo existen varios métodos que se diferencian por el modelo, del medio subterráneo natural, asumido para el análisis y por su forma.

6.6.1 Método de Metroproyekt

Uno de los métodos más difundidos y con amplia validación en el tiempo y el espacio ha sido el método de METROPROYEKT de Moscú que considera a la estructura como un anillo elástico implantado en un medio elástico continuo (macizo natural), cuyas propiedades mecánicas se caracterizan con el coeficiente de balasto; el macizo natural es capaz de generar resistencia de un solo signo, direccionada hacia la estructura.

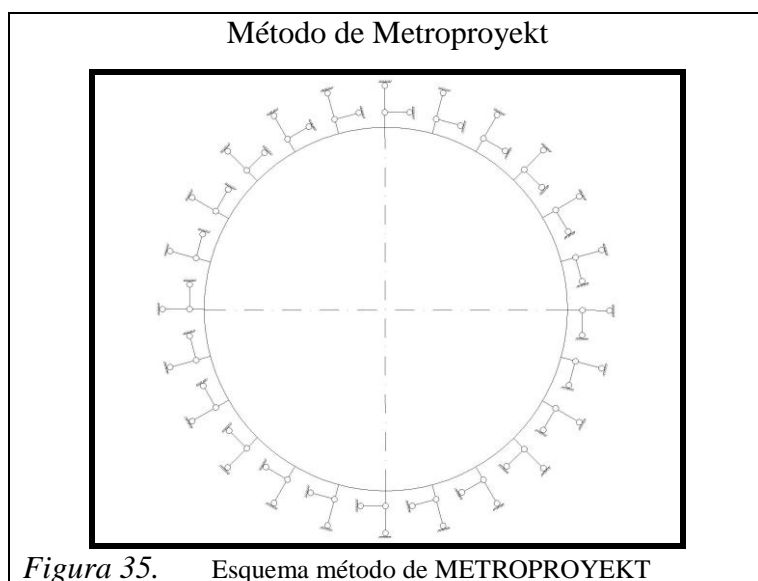
Para el análisis se reemplaza, por una parte, el anillo por un polígono circunscrito de 16 ángulos, en tanto que el medio elástico continuo se reemplaza por apoyos elásticos independientes, ubicados en todos los vértices del polígono, a excepción de aquellos vértices localizados en la zona sin resistencia elástica del macizo. La dirección de las reacciones de apoyo en las barras se asume coincidente con las líneas de los correspondientes radios del anillo; en caso de considerar la fuerza de fricción dicha dirección tendrá una desviación igual al ángulo de fricción entre el macizo y el revestimiento.

Para pasar al sistema básico del método de fuerzas, en todos los vértices del polígono, a excepción de dos, se introducen articulaciones (uniones articuladas) y en calidad de incógnitas se asumen los momentos flexores aplicados en esas secciones: M_1, M_3, \dots, M_9 ; en este caso, los momentos M_2, M_4, \dots, M_8 , aplicados en las secciones simétricas, serán incógnitas grupales (Fig 35)

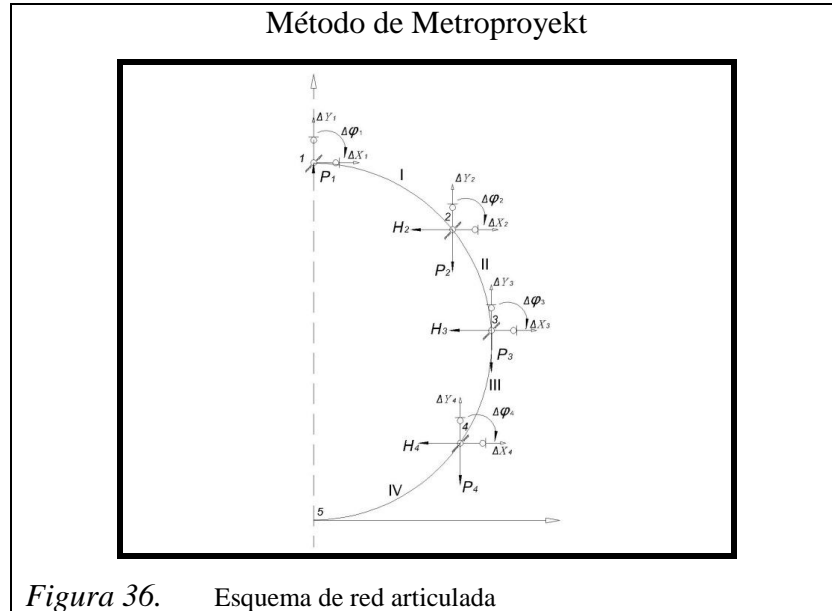
La ecuación fundamental tipo del método de fuerzas, formulada para el apoyo n tiene la siguiente presentación:

$$\delta_{n,n-2} M_{n-2} + \delta_{n,n-1} M_{n-1} + \delta_{n,n} M_n + \delta_{n,n+1} M_{n+1} + \delta_{n,n+2} M_{n+2} + \dots + \Delta_{np} = 0 \quad \dots 1$$

Los coeficientes de las n incógnitas y los sumandos independientes de las ecuaciones representan, los desplazamientos del sistema básico, en dirección de estas incógnitas, producidos, respectivamente, por los momentos unitarios y por la carga dada. Para su determinación es necesario, previamente, determinar las correspondientes reacciones.



La parte superior del sistema básico (Fig 35), ubicada en la zona sin reacción elástica del macizo, se analiza como arco con tres articulaciones cuyas reacciones de apoyo, debidas a la carga y a los momentos unitarios, se transmiten con signo contrario al sistema articulado ubicado abajo.



Las reacciones en los tramos de la red articulada se determinan de la condición de equilibrio de los nodos secuencialmente seccionados (Fig 36). De la condición de equilibrio del nodo n, bajo acción de la carga dada, se determinan:

- La fuerza normal en el tramo entre los nodos n y n-1:

$$N_n^o = N_{n-1}^o + Y_n \frac{\sin \theta_n}{\cos \frac{\theta_0}{2}} - X_n \frac{\cos \theta_n}{\cos \frac{\theta_0}{2}} \quad ..2$$

- La reacción del apoyo elástico en el nodo n:

$$R_n^o = (N_{n-1}^o + N_n^o) \sin \frac{\theta}{2} - Y_n \cos \theta_n - X_n \sin \theta_n \quad ...3$$

Donde Y_n : fuerza puntual vertical en el nodo n debida a la carga dada; X_n : fuerza puntual horizontal en el nodo n debida a la carga dada; θ_n : ángulo

central comprendido entre la vertical y el radio trazado a través del punto n; θ_0 : ángulo central comprendido entre los radios trazados entre vértices vecinos del polígono; para el polígono de 16 lados $\theta_0 = 22^\circ 30'$.

Debido al momento unitario \bar{M}_n , aplicado en el nodo n, se originan las siguientes reacciones:

- Fuerzas normales en los tramos

$$\bar{N}_{n-1} = \bar{N}_n = \frac{1}{2r \cos \frac{\theta_0}{2}}$$

- Las reacciones de los apoyos elásticos

$$\bar{R}_n = \frac{2 \cos \theta_0}{r}; \quad \bar{R}_{n-1} = \bar{R}_{n+1} = -\frac{1}{r \sin \theta_0}$$

En los restantes elementos del sistema básico este momento unitario no origina reacciones. El momento unitario \bar{M}_3 , aplicado al apoyo del arco triarticular, origina las siguientes reacciones:

- Fuerzas normales en los tramos:

$$\bar{N}_n = \frac{1}{2r \cos \frac{\theta_0}{2}}; \quad \bar{N}_{n+1} = \bar{N}_1 = \frac{1}{r \cos \frac{\theta_0}{2}}$$

- Reacciones en los apoyos elásticos:

$$\bar{R}_n = \frac{1}{r \sin \theta_0};$$

$$\bar{R}_{n+1} = \frac{3 \operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2}}{2r} - \frac{1}{2r} \operatorname{ctg} \frac{\theta_0}{2};$$

$$\bar{R}_{n+2} = \bar{R}_1 = \frac{2tg \frac{\theta_0}{2}}{r}$$

La determinación de los desplazamientos del sistema básico se ejecuta considerando el efecto de las fuerzas normales y de los desplazamientos de los apoyos elásticos.

Así por ejemplo, el desplazamiento en dirección de \bar{M}_m debido al desconocido y unitario \bar{M}_n :

$$\delta_{mn} = \sum \int \frac{\bar{M}_m \bar{M}_n}{EJ} ds + \sum \frac{\bar{N}_m \bar{N}_n(a)}{EF} + \frac{\bar{R}_m \bar{R}_n}{kab}$$

En la ecuación:

\bar{M}_m y \bar{M}_n son momentos flexores en cualquier sección de los tramos, debidos a los correspondientes momentos unitarios;

\bar{N}_m y \bar{N}_n son las fuerzas normales en los tramos debidas a los correspondientes momentos unitarios;

\bar{R}_m y \bar{R}_n son las reacciones en las barras de apoyo debidas a los correspondientes momentos unitarios;

EJ y EF son las rigideces de las secciones longitudinales del revestimiento para corte y compresión;

a es la longitud de los lados del polígono;

b es el ancho tomado, para el análisis, del anillo de revestimiento;

k es el coeficiente de reacción elástica del macizo .

Luego de determinar las ocho incógnitas del sistema de ocho ecuaciones, son obtenidas las reacciones finales con las siguientes ecuaciones:

$$N_n = N_n^0 + \sum \bar{N}_{ni} M_i$$

$$M_n = M_n^0 + \sum \bar{M}_{ni} M_i$$

$$R_n = R_n^0 + \sum \bar{R}_{ni} M_i$$

En esta ecuación, N_n^0 , M_n^0 , R_n^0 , son las reacciones en el sistema básico por la carga dada;

\bar{N}_{ni} , \bar{M}_{ni} , \bar{R}_{ni} , son las reacciones en el sistema básico por los momentos unitarios de nodo;

M_i , son los valores encontrados de las incógnitas.

6.6.2 Método de Olga E. Bugaeva

Ha sido un método ampliamente utilizado y validado. Permite obtener resultados satisfactorios para proyectos a nivel de factibilidad; fue propuesto en los años cuarenta del siglo pasado.

Este método, en forma sistematizada fue presentado en 1962 por la editorial GOSENERGOIZDAT de Moscú y Leningrado. Y continuó siendo utilizado por más de dos décadas para el diseño y construcción de túneles hidráulicos de centrales hidroeléctricas en la Unión Soviética y en otros países de Europa oriental.

El macizo que circunda a la estructura se caracteriza a través del coeficiente de reacción elástica k . La reacción se asume radial y con acción en la parte inferior de la estructura, comprendida en un ángulo de 270° . La parte superior con ángulo central de 90° , se asume que se trata de una zona sin reacción elástica.

La línea elástica del anillo se aproxima con las ecuaciones:

- a) Para $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$: $\omega = \omega_B \cos 2\theta$
- b) Para $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$: $\omega = \omega_A \cos^2 \theta + \omega_B \sin^2 \theta$,

Donde:

θ es el ángulo de inclinación de la sección respecto a la vertical;

ω_A y ω_B son las ordenadas de la línea elástica en las secciones A y B.

Los momentos flexores y las fuerzas normales de contorno en las secciones características del anillo se determinan con las siguientes ecuaciones:

a) Debido al peso propio de la estructura:

$$M_A = 0,070Rr(1-0,059n)$$

$$N_A = -0,027R(1-0,040n)$$

$$M_B = -0,063Rr(1-0,066n)$$

$$N_B = -0,250R(1+0,011n)$$

$$M_C = 0,055Rr(1-0,064n)$$

$$N_C = 0,027R(1-0,040n)$$

Debido al peso del líquido en el túnel:

$$M_A = 0,070Rr(1-0,059n)$$

$$N_A = 0,451R(1-0,056n)$$

$$M_B = -0,063Rr(1-0,066n)$$

$$N_B = 0,068R(1-0,042n)$$

$$M_C = 0,055Rr(1-0,064n)$$

$$N_C = 0,186R(1-0,056n)$$

b) Debido a la carga vertical uniformemente distribuida:

$$M_A = 0,125Rr(1-0,067n)$$

$$N_A = 0,09Rn$$

$$M_B = -0,125Rr(1-0,066n)$$

$$N_B = -0,500R(1+0,012n)$$

$$M_C = 0,125Rr(1 - 0,56n)$$

$$N_C = -0,021Rn$$

Donde :

R: Resultante de la carga correspondiente;

$$n = \frac{1}{0,06416 + \frac{EJ}{kr^4}} = \frac{1}{0,06416 + \frac{E}{12kr} \left(\frac{\delta}{r} \right)^3}$$

Donde:

E: módulo de elasticidad del material de la estructura;

J: Momento de Inercia de la sección longitudinal de la pared para la unidad de longitud de estructura;

k: coeficiente de reacción elástica del macizo.

Cuando $EJ = \infty$ ó $k = 0$, entonces $n = 0$ y las ecuaciones anteriores se transforman en ecuaciones para el caso en el que no se considera la resistencia elástica del macizo.

Cuando se considera la zona sin resistencia elástica, la sección crítica es la C-C, por cuanto allí está ausente la resistencia elástica.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos por el método de BUGAEVA.

Tabla 44. *Bugaeva de acuerdo al peso propio*

Debido al peso propio de la estructura							
A (m2)	R(T/m)	MA (T-m)	NA (T)	MB (T-m)	NB (T)	MC (T-m)	NC (T)
42,089	101,015	3,220	-0,761	1,024	-29,583	0,084	1,027

Nota: Elaborado por Andrea Gordón

Tabla 45. *Bugaeva de acuerdo al peso líquido*

Debido al peso del líquido en el túnel							
A (m2)	R(T/m)	MA (T-m)	NA (T)	MB (T-m)	NB (T)	MC (T-m)	NC (T)
35,500	347,900	11,089	19,981	3,528	39,141	0,290	8,240

Nota: Elaborado por Andrea Gordón

Tabla 46. *Bugaeva de acuerdo a la carga*

Debido a la carga vertical uniformemente distribuida:							
A (m2)	R(T/m)	MA (T-m)	NA (T)	MB (T-m)	NB (T)	MC (T-m)	NC (T)
-	-	-0,515	23,194	0,333	-9,815	-90,243	-5,412

Nota: Elaborado por Andrea Gordón

CAPÍTULO 7

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL: INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD

7.1 Nombre del Proyecto

“DISEÑO DE LAS OBRAS DE DESVÍO DEL PROYECTO HIDROELECTRICO CHONTAL” - ANÁLISIS AMBIENTAL

7.1.1 Actividad económica/Código del CCAN

En la siguiente tabla se encuentra detallado la actividad económica y el código del CCAN en el que se encuentra nuestro proyecto de acuerdo al Acuerdo Ministerial 006:

Tabla 47. *Actividad Económica/Código del CCAN*

CODIGO CCAN	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	CATEGORIA
23.4.1.2.2	Construcción de Túneles	
23.4.1.2.2.1	Construcción de túneles menor o igual a 500m	III

Nota: Actividad Económica que determina el CCAN

7.1.2 Información del promotor del proyecto

ANDREA FERNANDA GORDÓN

Icamiabas y Juan de Mosquera #209 sector Mena 2

Teléfono: 02- 2840667

andygordon@hotmail.com

7.1.3 Información del equipo técnico del proyecto

Nombre	Profesión	Firma
Byron Arregui Gallegos	Ing. Civil; Msc. Ambiental Director Técnico – Formulación del PMA	_____
Constanza Moreno	Ing. Geógrafa y Ambiental Auditor Líder ISO 14000 Jefe de Área	_____
Ángel Pazmiño T.	Geógrafo Elaboración de Cartografía Base y Estructuración de SIG	_____

Nombre	Profesión	Firma
Belén Vallejo V.	Ing. Geógrafa y del Medio Ambiente Master in Sustainable Water Management	_____
Karina Almeida	Biólogo Esp. Avifauna	_____
Salomón Cuesta	Antropólogo Auditor Líder ISO 14000	_____
Byron Carrera	Antropólogo	_____

Nota: Asociación Geodata – Astec

7.1.4 Objetivos

7.1.4.1 Objetivo general

El objetivo de este estudio es poder determinar las consecuencias que se pueden producir por la construcción y operación del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal, para poder reducirlas, controlar y mitigarlas, dando cumplimiento a lo estipulado en las Normativas y Reglamentos vigentes compilados dentro del Texto Unificado de la Legislación Ambiental (2003).

7.1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la situación ambiental y socioeconómica del área de influencia donde se encuentra el Proyecto.
- Determinar las causas que generan mayor impacto en el medio ambiente.
- Establecer los mecanismos para poder controlar los impactos que tendrá el ambiente por la construcción del Túnel y que sean económicamente factibles de aplicar en el proyecto.

7.1.5 Descripción de áreas del proyecto

Tabla 48. *Descripción de áreas del proyecto*

Obra	Long (m)	Ancho (m)	Área (m2)
Túnel de desvío	402.72	12.80	4390

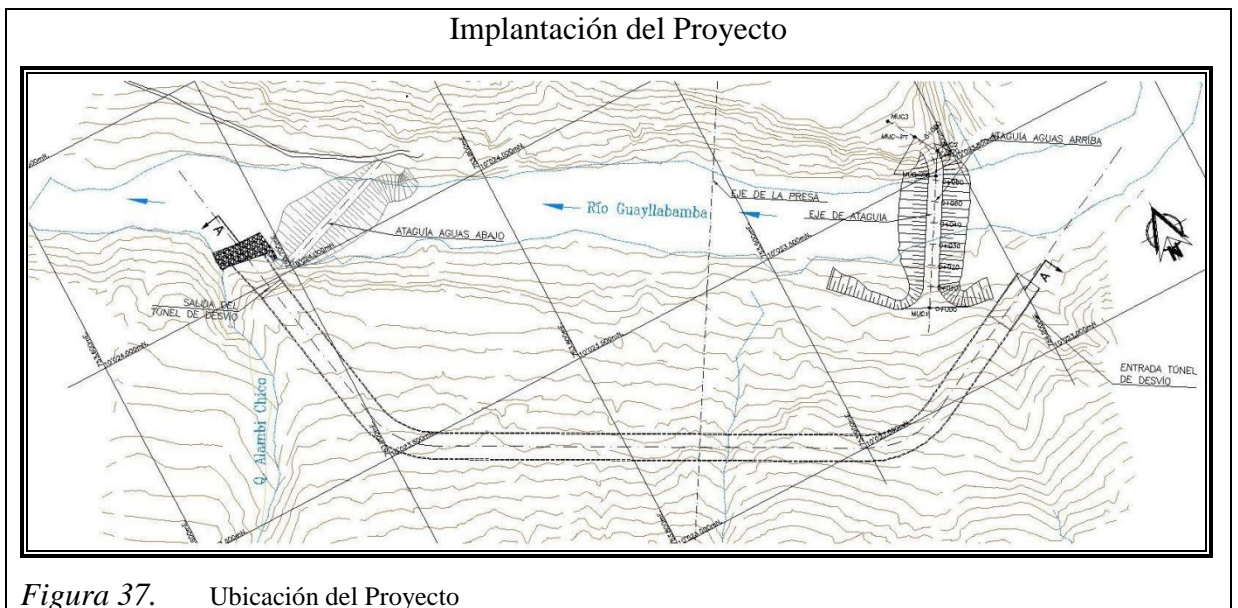
Nota: Elaborado por Andrea Gordón

7.1.6 Monto de la inversión

El monto de la inversión bordea los 10'650.665,15 USD.

7.1.7 Justificación de la localización

En la siguiente gráfica se indica la ubicación del túnel de desvío.



La posición del túnel de desvío se ubica en la orilla izquierda de acuerdo a las condiciones geológicas y topográficas de la zona, considerando la ubicación del paleocauce y la profunda gorja del Río Chaguayacu en la orilla derecha.

El túnel de desvío está diseñado para desviar un flujo de $1242 \text{ m}^3/\text{s}$ (periodo de retorno de 10 años) tomando en consideración que la presa es de tipo de hormigón a gravedad de tipo R.C.C.

Este tiene una longitud de 402.72 m, con una sección (circular) de 12 m de diámetro y está revestido con concreto reforzado. La entrada y salida del túnel son estructuras de concreto ubicadas a las elevaciones 667 y 664 m respectivamente. La velocidad del flujo en el túnel está en el orden de los 17 m/s correspondiente con el diámetro óptimo elegido de acuerdo a los parámetros económicos y estructurales.

Para la construcción del túnel de desvío es necesario la construcción de ataguías temporales alrededor de los portales de entrada y salida.

Cabe recalcar que la ubicación del túnel de desvío no se encuentra dentro de un área protegida por lo que no se deberá tener en cuenta dicho impacto.



7.2 Marco legal

7.2.1 Normativa aplicable

En la realización del presente estudio se utilizó la información existente y aquella suministrada por Hidro Equinoccio EP.

Con base en esta información se generaron mapas preliminares sobre las condiciones geológicas, hidrológicas, geomorfológicas, de cobertura vegetal, uso del suelo y comunidades. La base topográfica a escala para la elaboración de estos mapas, fue la del IGM y levantamientos topográficos y aerofotogramétricos realizados por INECCEL hacia el año 1.978 y 1.979.

Se realizaron trabajos de campo con el fin de comprobar y detallar la información existente y la cartografía preliminar. La base cartográfica fue alimentada con la información recopilada en el sitio y su contexto, y con los aportes de los distintos especialistas, lo cual permitió elaborar el informe y los mapas definitivos, diferenciados temáticamente de acuerdo a los requerimientos del estudio.

Fundamentalmente se generó y verificó información en los trabajos de campo. El conjunto de actividades generó información detallada, especialmente en lo concerniente a los aspectos físicos, bióticos y socioeconómicos, de las áreas de influencia determinadas.

El conocimiento de las condiciones geológicas, geomorfológicas, litoestratigráficas, climáticas, hidrológicas, ecológicas y de uso y tenencia de tierra, en su conjunto, han permitido una adecuada relación e identificación de los impactos ambientales y los riesgos naturales que pueden afectar al área por las actividades previstas en la realización del Proyecto.

La información consignada en el estudio de Diagnóstico o Línea Base ha permitido diseñar el Plan de Manejo Ambiental, que incluye los criterios y procedimientos que deben ser considerados durante las actividades previstas en el proyecto, con el fin de reducir, mitigar o eliminar los impactos ambientales negativos y los aspectos vulnerables de las distintas obras a ejecutarse y maximizar los impactos positivos producidos.

7.2.2 Pertinencia de presentación del proyecto, en forma de Declaración de Impacto Ambiental (DIA)

De acuerdo a las características del túnel de desvío se encuentra en la categoría III, donde se encuentran catalogados los proyectos cuyos impactos ambientales, o niveles de contaminación generados al ambiente, son considerados de impacto y riesgo ambiental medio.

7.3 Línea base

7.3.1 Criterios metodológicos

Se presentan los resultados del análisis que posteriormente servirán para la identificación de las áreas ambientalmente sensibles y la definición de un plan de manejo específico, coherente con la naturaleza del proyecto y las características del área.

La línea base incorporará la evaluación de la situación actual de los siguientes componentes ambientales:

Medio Físico

Dentro de este medio las metodologías de análisis fueron las siguientes:

Geología, geomorfología y suelos

La metodología aplicada en la elaboración de la línea base en lo referente a geología, geomorfología y suelos, incluyó la revisión y el análisis de la información previamente existente.

Se utilizaron también las cartas topográficas publicadas por el Instituto Geográfico Militar, fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Clima

La metodología seguida para definir las características climatológicas de la zona de estudio consiste en dividir a la cuenca en función de rangos altitudinales, a partir de los cuales se escogen estaciones tipo que sean representativas de cada zona definida, de la siguiente manera:

Las estaciones escogidas representan la distribución espacial de la precipitación en esta parte de la Cuenca del Guayllabamba hasta el área de Villadora. Estas estaciones fueron las siguientes:

Zona alta: Aloag - La Granja; Loreto Pedregal y Tabacundo

Zona intermedia: Quito INAMHI; San Antonio; Tumbaco; Apuela; Nanegalito; Nono; Guayllabamba

Zona baja: García Moreno; Chontal Bajo; Chontal Alto; Mesa Miravalle; Viña del Chespi

Hidrografía

Se considera para este estudio la descripción de la red de drenaje de influencia del túnel de desvío que se encuentren dentro de la Subcuenca del Río Guayllabamba. Por este motivo se presenta una caracterización de las microcuencas aportantes más importantes de las que se tomarán los datos para realizar el análisis hidrométrico, dichas estaciones son las siguientes:

Pita AJ Salto;

Guachalá AJ Granobles;

Guayllabamba AJ Cubi;

Guayllabamba Puente Chacapata;

Guayllabamba DJ Alambi; y,

Guayllabamba AJ Blanco

Calidad de Aguas

Se tomaron muestras de los cuerpos hídricos representativos. Se establecieron además los principales usos que los pobladores dan a los cuerpos de agua (doméstico, abastecimiento de agua, preservación de flora y fauna, recreación, pesca, transporte entre otros).

Medio Biótico

El análisis de este componente se realizó con la información recopilada anteriormente en los primeros estudios realizados en la zona y complementada con muestreos cualitativos realizados durante la campaña de campo.

Cobertura Vegetal y Uso del Suelo

Se establecieron cinco unidades temáticas para cobertura y uso del suelo, así:

Bosques secundarios y/o remanentes

Asociación de bosques, pastizales y cultivos

Pastizales y cultivos

Áreas sin cobertura vegetal

Cuerpos de agua

• Flora

Se caracterizó a la flora con un muestreo cuantitativo donde existe cobertura de bosque natural y un muestreo cualitativo en las áreas intervenidas (cultivos, pastos, viviendas).

Para el análisis de datos se utilizó el Índice de Diversidad de Simpson de acuerdo a Cerón (2003) y Krebs (1985). Además se empleó la información obtenida en el campo e identificaciones botánicas preliminares.

$$IDS = \frac{1}{\sum Pi^2}$$

Donde:

IDS = Índice de Diversidad de Simpson corregido

Σ = Sumatoria

1 = Constante del Índice de Simpson corregido

Pi² = Proporción de individuos elevado al cuadrado

- **Fauna**

Los criterios empleados para la selección de los puntos de muestreo a ser evaluados en el presente estudio son: registros similares de fauna en función del piso zoogeográfico y tipo de hábitat y finalmente las características ecológicas de la zona de estudio.

La metodología y las técnicas específicas desarrolladas para cada componente zoológico difieren según las características de cada uno:

- **Mamíferos**

Los mamíferos grandes y muchos de los medianos pueden ser identificados a simple vista, el método para su estudio es su registro directo o indirecto mediante recorridos. Su estudio se llevó a cabo mediante el uso simultáneo de dos técnicas: la observación directa y la búsqueda e identificación de huellas y otros rastros.

Las técnicas utilizadas para los recorridos cualitativos fueron las siguientes:

Observación directa. El objetivo de esta metodología consistió en visualizar e identificar la mayor cantidad posible de mamíferos en su medio natural y los ecosistemas relacionados con ellos. Se registró la actividad que cumplía el animal en el momento de la observación, la hora de la misma, la distancia al observador, el tipo de hábitat y el estrato (acuático, terrestre, sotobosque y dosel) donde fue observado.

- **Aves**

Recorridos de observación. Se realizaron avistamiento de aves en distintos puntos de observación en un recorrido por la zona de influencia del túnel de desvío. Las aves se identificaron *in situ*, con la ayuda de las guías de campo de Ridgely & Greenfield (2001) y Hilty y Brown (1986).

Identificación Indirecta

Cantos. Este método permitió la identificación de aves especialmente mediante sus cantos. Para esta actividad. Las aves cuyas vocalizaciones fueron identificadas se anotaron en la libreta de campo.

- Herpetofauna (Reptiles y Anfibios)

Búsqueda libre y sin restricciones

Es el método más eficiente para obtener el mayor número de especies en el menor tiempo. Consiste en realizar caminatas durante el día y la noche en busca de anfibios y reptiles, pero sin que existan mayores reglas para la búsqueda (excepto el revisar minuciosamente todos los microhábitats disponibles) (Angulo et al., 2006). Luego de la captura se registró la información básica sobre lo que estaba haciendo el animal capturado (actividad), cuándo se encontró y dónde se encontró (substrato). Se registró, también la hora de captura (Lips et al., 2001).

- Ictiofauna

Artes de pesca. De acuerdo a encuestas realizadas a los moradores de la zona no se realiza pesca en el río donde se construirá el túnel de desvío.

- Entomofauna

En el área se analizó la cartografía disponible y se efectuaron recorridos de observación de hábitats y micro hábitats. Los insectos fueron estudiados mediante la técnica de golpeteo, que consistió en sacudir las ramas de los arbustos sobre una sábana de 1 m² (con 10 replicados) sobre la cual cayeron, mismos que fueron recogidos y conservados en alcohol.

Nota: La información correspondiente a la Línea Base fue obtenido del proyecto Hidroeléctrico Chontal

Medio Socioeconómico

Para la recolección y análisis de los datos, se utilizaron las siguientes herramientas metodológicas:

Un primer nivel de análisis fue la revisión de información bibliográfica (publicaciones, informes, estudios de impacto ambiental previos, etc.) y cartográfica disponible, con el propósito de lograr una caracterización provisional de la situación geográfica y socioeconómica del área en cuestión.

Personas entrevistadas

Son pobladores que habitan la zona de estudio. En las entrevistas semi-dirigidas se exploró los siguientes aspectos socialmente significativos: Aspectos sociales, económicos, productivos; percepciones sobre el proceso de ocupación.

7.3.2 Análisis Detallado

Medio Físico

Litoestratigrafía

Integrando la información que consta en los mapas geológicos de los sitios del túnel se establece que la unidad litológica que aflora en dicho sector es:

- **Batolito Apuela**

Es la unidad litológica más extendida en el área; los mejores afloramientos se encuentran en los lechos y parcialmente en las paredes del río Guayllabamba; también se puede encontrar varios de sus afluentes, particularmente hacia la desembocadura. Caracterizada por su aspecto masivo, grano relativamente grueso y mineralogía de feldespato-cuarzo y anfíboles dominantes.

Localmente la granodiorita gradúa a diorita debido a la reducción del contenido de cuarzo. La granodiorita alterada gradúa desde una roca de baja compactación hasta prácticamente un material suelto; se trata de una roca de mala calidad.

Geomorfología

Considerando la influencia de las condiciones geomorfológicas y de los fenómenos morfodinámicos sobre las características de diseño, constructivas y de estabilidad de las futuras obras, el análisis de la geomorfología se centra en los sitios de obra y sus áreas de influencia más próximas.

La interacción entre la disposición espacial de los cuerpos de roca, su litología, la tectónica que ha afectado al área, el clima, la acción denudativa y acumulativa de los cursos de agua, es responsable del modelado actual del área de estudio y de los procesos morfodinámicos que en la actualidad modifican dicho modelado.

La interacción antes citada y los procesos descritos, han dado forma al relieve actual en el que se ha identificado la siguiente unidad geomorfológica:

Cauces

En esta unidad se incluyen el cauce del río Guayllabamba.

Se trata de un cauce unicanal de lecho rocoso, profundo, a veces sinuoso y en otras ocasiones rectos, con paredes de fuerte ángulo y, en algunos casos, prácticamente verticales.

Debido a que el río decurre sobre un lecho de roca, se trata de cursos estables, en los que la socavación lateral no está presente y la vertical, si la hay, es mínima.

No se observaron barras laterales, apenas pequeñas acumulaciones de grandes cantos de angulares a sub-redondeados, muchos de ellos caídos; es decir que la función del río es el acarreo de sedimentos.

Climatología

Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas

En la siguiente tabla se muestran las que fueron escogidas como representativas de las zonas de estudio:

Tabla 49. *Estaciones Representativas del área de estudio*

Código	Nombre	Microcuenca	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)
P325	García Moreno	Íntag	1.830,25	600
P327	Chontal Bajo	Guayllabamba	1.281,67	700
P721	Mesa Miravalle	Alambi	1.816,83	960
M524	Chontal Alto	Guayllabamba	2.587,09	1.300

Nota: (INAMHI), Asociación Geodata - Astec

Generalidades Sobre El Clima

El área del túnel se encuentra en la zona baja de la Cuenca del Río Guayllabamba entre las alturas de 663 msnm a los 900 msnm aproximadamente.

La variación pluviométrica es notoria a lo largo de la cuenca, con precipitaciones anuales promedio que varían entre los 40 mm y más de 1.8000 mm. Estas variaciones se deben a factores orográficos como altitud, orientación de las vertientes y al relieve de los alrededores de la cuenca. De la misma manera se encuentran variaciones considerables entre los valores promedios de temperatura, que van desde temperaturas inferiores a 10°C hasta zonas donde la temperatura media es mayor a 25°C.

Hidrología

Es importante para la construcción del túnel, una descripción general de la hidrología en el área de estudio.

Para cumplir con este objetivo se requiere conocer los caudales con determinadas probabilidades de excedencia (por lo general el llamado Q95, que es el caudal que puede ser igualado o excedido el 95% del tiempo).

Descripción de la subcuenca de Drenaje

La Subcuenca del Río Guayllabamba es una de las más densamente pobladas a nivel nacional ya que aquí se asienta el Distrito Metropolitano de Quito con más de dos millones de habitantes. Dada esta coyuntura, se infiere la enorme demanda del recurso hídrico que debe satisfacer las necesidades de la población en términos de usos consuntivos y no consuntivos del recurso.

El Río Guayllabamba toma su nombre aguas abajo de la confluencia del río San Pedro con el Río Chiche. Posteriormente, el Río Guayllabamba recibe las aguas del Río Pisque por su margen derecha, que nace sobre los 4600 msnm y del Río Monjas o San Antonio por su parte izquierda. Aguas abajo el Río recibe las aguas del río Cubi, posteriormente las del río Íntag, ambos por su margen derecha hasta el sitio del embalse.

Calidad De Aguas

El río Guayllabamba es el principal curso de agua del área del proyecto. Este río recibe las aguas servidas del Distrito Metropolitano de Quito por lo que a simple vista se pudo determinar que se encuentra altamente impactado en su calidad por la presencia de basura en sus orillas y el mal olor del mismo. Este río en el área del proyecto no tiene un uso importante por parte de la población debido a sus condiciones naturales.

Con el fin de establecer las características físico-químicas y bacteriológicas se tomaron cuatro muestras de agua. La ubicación de estas se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 50. Puntos de Muestreo de Agua

Nombre curso de Agua	Código	Fecha	Ubicación aproximada	UTM *	
				Este	Norte
Guayllabamba	M01	14/05/2010	Río Guayllabamba después de la unión con el Río Changuayacu	754229	10024611
Changuayacu	M02	14/05/2010	Río Changuayacu	755229	10025549

Nota: Asociación GEODATA - ASTEC, 2010

Los resultados de los parámetros indicadores de la calidad del agua determinados en el sitio y los obtenidos en el laboratorio se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 51. *Resultados de Análisis de Aguas*

Ensayo Tabla 3 (TULAS)	Unidades	Límite de cuantificación	Límite Permisible	Resultado	
			Tabla 3 TULAS Agua Fría Dulce	M01	M02
Oxígeno Disuelto	mg/l	1,0	>5	3,2	6,6
pH	Unidad pH		6,5-9	7,38	7,66
Sulfuros de Hidrogeno	mg/l	0,050	0,0002	<0,05	<0,05
Amoniaco*	mg/l	0,31	0,02	<0,31	<0,31
Aluminio	mg/l	0,100	0,1	0,578	0,151
Arsénico	mg/l	0,010	0,05	<0,01	<0,01
Bario	mg/l	0,500	1	<0,5	<0,500
Boro	mg/l	0,100	0,75	0,148	<0,100
Cadmio	mg/l	0,010	0,001	<0,01	<0,010
Cianuro Libre	mg/l	0,025	0,01	<0,025	<0,025
Zinc	mg/l	0,010	0,18	0,033	0,018
Cloro Libre Residual	mg/l	0,050	0,01	<0,05	<0,050
Cobalto	mg/l	0,050	0,2	<0,05	<0,050
Estaño	mg/l	0,050		<0,05	<0,05
Plomo	mg/l	0,050		<0,05	<0,050
Cobre	mg/l	0,020	0,02	<0,02	<0,020
Cromo total	mg/l	0,010	0,05	<0,01	<0,010
Fenoles	mg/l	0,025	0,001	<0,025	<0,025
Aceites y Grasas	mg/l	0,2	0,3	<0,2	<0,200
Hierro	mg/l	0,030	0,3	0,529	0,198
Hidrocarburos Totales (TPH)	mg/l	0,2	0,5	<0,2	<0,200
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	mg/l	0,0002	0,0003	<0,0002	<0,0002
Manganeso	mg/l	0,030	0,1	0,09	0,042
Mercurio	mg/l	0,010	0,0002	<0,01	<0,010
Níquel	mg/l	0,020	0,025	<0,02	<0,020
Plata	mg/l	0,010	0,01	<0,01	<0,010
Selenio	mg/l	0,010	0,01	<0,01	<0,010
Sustancias Tensoactivas	mg/l	0,25	0,5	<0,25	<0,250
Coliformes Fecales*	NMP/100ml	1	200	>2420	75

Nota: Asociación GEODATA - ASTEC, 2010

Fuente: Laboratorios ANNCY, 2009

* La comparación se realiza solo como referencia, ya que el presente análisis tiene como objeto realizar una caracterización del estado actual de la zona, no de realizar control y seguimiento.

Medio Biótico

La zona de estudio se encuentra dominada por ambientes alterados, siendo los cultivos y las áreas abiertas los de mayor predominancia, observándose también algunos relictos de bosque en donde se determina que tanto la riqueza y densidad

como la diversidad de especies es baja, sin embargo, también se identificaron algunas especies importantes para la conservación.

Cobertura Vegetal

Se realizó la clasificación de una imagen Spot del área de estudio. De esta manera, se encontró que el área del túnel estará emplazada en la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo llamada Asociación de Bosque Cultivos y Pastos en un 100%.

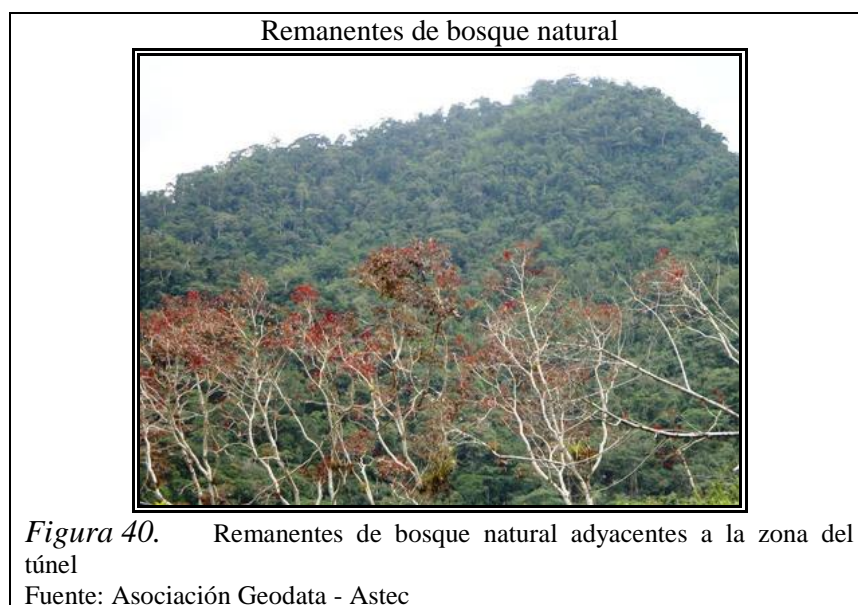
Análisis cualitativo-estructura y composición florística

Muestreo V1*

En el muestreo V-1 realizado en la zona de estudio, se identificó que en la parte oeste la vegetación natural en su mayor extensión ya no existe, en su lugar se han implantado cultivos de “caña de azúcar” *Saccharum officinarum* (Poaceae) “yuca” *Manihot esculenta* (Euphorbiaceae), “plátano” *Musa x paradisiaca* (Musaceae), “guayaba” *Psidium guajaba* (Myrtaceae); las especerías “ají” *Capsicum anuum*, *C. chinense* (Solanaceae) y el colorante “achiote” *Bixa orellana* (Bixaceae); las ornamentales “achira” *Canna jaegeriana* (Cannaceae), etc. Además se identificaron zonas desprovistas de vegetación y viviendas.



Al contrario de la parte este, donde se puede observar aún remanentes de bosque natural en buen estado; a pesar de ser inaccesibles por su pronunciada pendiente. Se observó un bosque maduro, sobre suelo de bastante pendiente, con mínima intervención humana, los árboles alcanzaron una altura aproximada de 30 metros.



Ecología de las especies importantes

Inga spp. “guabas” (Mimosaceae)

Árboles nativos de los bosques de llanura y montaña de América tropical, crecen desde los 0 hasta 2500 m de altitud, sobre todo tipo de suelos, prosperan en zonas bajas, de clima siempre húmedo, con precipitaciones de hasta 5000 mm. Todas las especies de guabas presentan pequeñas glándulas productoras de néctar en las hojas, éstas atraen especialmente a hormigas, el efecto de estos insectos visitantes es proteger a la planta contra los herbívoros que la pueden atacar, estableciéndose una simbiosis (Pennington, T.D. y N. Revelo, 1997).

“Palmas” (Arecaceae)

Plantas arbóreas y arbustivas que crecen desde los bosques tropicales hasta los nublados, su importancia radica en que una variada fauna acude a alimentarse de sus apetecidos frutos, incluidos los seres humanos.

Uso Del Recurso

La mayoría de las especies consideradas útiles para los habitantes de la zona aledaña al proyecto ya han sido taladas, con el objeto de emplear la madera para la construcción. Una mínima cantidad de sus habitantes siguen conservado los conocimientos etnobiológicos, quizá trabajando con informantes adultos o quienes practican la medicina ancestral y mitológica, el listado de las especies útiles podría ampliarse y los usos por lo tanto multiplicarse.

Especies vegetales y sus usos

En general los bosques, no son solo árboles, son un ecosistema natural, rico en especies vegetales, que sirven de abrigo, vivienda y alimento a una variada fauna, al tiempo que ejerce una influencia fundamental en el equilibrio natural debido a su producción de oxígeno, protección del suelo, regulación del régimen de las aguas y del clima. Como comunidad eminentemente compleja, el bosque asegura las funciones esenciales que definen la vida y que se resumen en lo siguiente: constituye un elemento indispensable para el equilibrio biológico; ejerce una acción reguladora sobre el clima regional; asegura una producción continua de humus; produce oxígeno y fija dióxido de carbono; fija el polvo y limpia la atmósfera; absorbe el sonido; estabiliza los mantos de agua subterráneos, regenera la calidad del agua y regula su régimen; protege la flora y la fauna; es fuente de materias primas; y es bien cultural que brinda un lugar de esparcimiento.

Fauna

Mamíferos

Para realizar la caracterización de los mamíferos dentro del área de influencia del proyecto, se establecieron puntos de muestreo.

Tabla 52. *Punto de muestreo para el estudio de la mastofauna en el área*

Transecto de estudio	Fecha dd/mm/aa	Hora	Coordenadas (UTM)		Tipo de muestreo	Longitud Aprox	Ancho Aprox.	Área cubierta Aprox.
			X	Y				
Recorrido* zona de estudio	40292	13h30 a 17h00	753373,58	10025315,2	Cualitativos	1.000 m	10 m	10.000 m ²
			753319	10025372				

Nota: * Punto de observación cualitativo, para la obtención de datos del grupo mastofaunístico. Análisis Preliminar del Impacto del Túnel de desvío. (Asociación Geodata Astec)

Zona del Río Chaguayacu-San Roque: área intervenida en gran parte y en la parte este un área de bosque natural de difícil acceso.

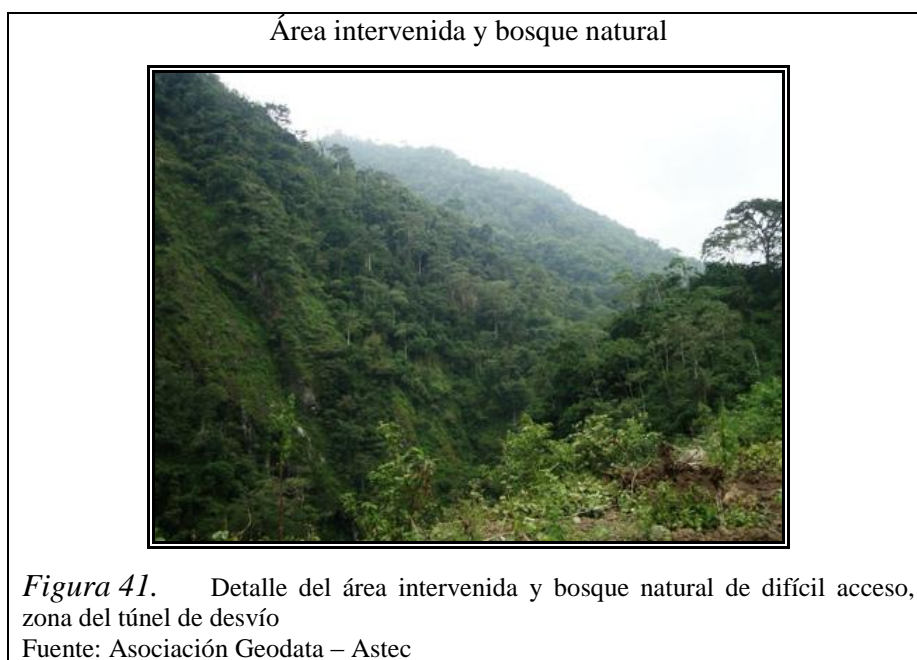


Tabla 53. *Órdenes, familias, número de géneros y especies de mamíferos*

Orden	Familias	No. Géneros	No. Especies	Porcentaje (%)
Didelphimorphia	Didelphidae	1	1	3,1
Cingulata	Dasypodidae	1	1	3,1
Pilosa	Myrmecophagidae	1	1	3,1
Primates	Cebidae	1	1	3,1
Rodentia	Sciuridae	1	1	3,1
	Cricetidae	1	1	3,1
	Erethizontidae	1	1	3,1
	Dasyproctidae	1	1	3,1
	Cuniculidae	1	1	3,1
Chiroptera	Phyllostomidae	11	18	56,3
	Vespertilionidae	1	1	3,1
Carnivora	Mustelidae	1	1	3,1
	Procyonidae	2	2	6,3
Artiodactyla	Tayassuidae	1	1	3,1
Total	14	25	32	100%

Nota: Envirotec, 2009

Fuente: Asociación GEODATA - ASTEC, 2010

Aspectos ecológicos

La gran mayoría de especies de mamíferos registradas utilizan el bosque para sus actividades, el que está restringido a quebradas y zonas de difícil acceso y pronunciada pendiente, tal es el caso de la zona de estudio. El 93,8% de las especies listadas se considera que ocupan de forma preferencial este hábitat.

En cuanto a la dieta alimenticia se identificaron seis tipos de dieta, cinco fueron básicas o principales y una fue dieta mixta, siendo las siguientes: carnívora (Ca), frugívora (Fr), hematófaga (He), insectívora (In), omnívora (Om), dentro de las dietas básicas o principales; frutos y semillas, dentro de la dieta mixta.

Sensibilidad de las especies de mamíferos

Las especies de baja sensibilidad fueron 21, son mamíferos que sirven como indicadores de ambientes alterados y de costumbres generalistas, representaron el 65,6% del total de registros. Si en un hábitat estudiado, el número de especies de baja sensibilidad es superior a las otras categorías es una señal de que el lugar está alterado. Dentro de estas especies se incluyen las familias Didelphidae, Dasypodidae, Cricetidae, Phyllostomidae, etc.

Uso del recurso

La zona de estudio estuvo dominada por ambientes alterados, siendo los cultivos y las áreas abiertas, conjugado con los bosques, los hábitats predominantes. Esto indica que el mayor porcentaje de mamíferos se refugiarían en los escasos bosques nativos existentes, mayormente fragmentados y con intervención.

Aves

En el siguiente cuadro se presenta la ubicación de los sitios de muestreo de la avifauna, al igual que la información relevante del lugar.

Tabla 54. *Puntos de muestreo para el estudio de la Avifauna en el área*

Muestra	Fecha	Hora	Coordenadas UTM		Tipo de Muestreo	Longitud del transecto	Ancho Aproximado	Área Cubierta Aproximada
	dd/mm/aa		X	Y				
A1*-Zona de estudio	24/04/2010	13h30 a 17h00 (Id)	753373,58	10025315,2	Cualitativos	-----	-----	-----
			753319	10025372				

Nota:* Punto de observación cualitativo, Análisis Preliminar de Impactos del Túnel de desvío

A1*- Zona de estudio: presentó relictos de bosques conjugado con cultivos y pastos para la crianza del ganado.



Aspectos Ecológicos

Durante el estudio se registraron especies que habitan en parches de Bosque Secundario (BS), Ecosistema de Cultivos (EC). Además se registraron especies en Bordes de Bosque (BB) y en Borde de Carretera (BC).

Las especies identificadas presentaron preferencias alimenticias: carroñera, carnívora, granívora, frugívora, insectívora, nectarívora y omnívora.

Sensibilidad y Especies indicadoras

Las especies predominantes en el área de estudio fueron las de baja sensibilidad con 29 especies (54,72%), siendo esto normal en áreas con actividades antropogénicas.

Uso del Recurso

La gente se dedica especialmente a la agricultura y ganadería, en menor grado a la explotación de madera. Por esta razón existe una cacería moderada de aves cinegéticas, por el drástico declinamiento de sus poblaciones debido a la sobrecacería en años anteriores.

Por las condiciones actuales del área, los procesos ecológicos naturales en los que participan las aves se han visto altamente modificados, existiendo en la zona una avifauna propia de ambientes muy alterados.

Peces

En el río Guayllabamba, gran parte de sus pobladores declararon no hacerlo, debido a que lo consideran extremadamente contaminado; sin embargo aún existe gente que realiza pesca de manera esporádica, aun conociendo las condiciones ambientales inaceptables de este río.

Insectos

Sitio de muestreo Guayllabamba- túnel de desvío*

En los alrededores del río Guayllabamba aún existen remanentes de bosques naturales entremezclados con cultivos y pastos. Durante la visita de campo se observó de manera cualitativa la entomofauna del lugar. Registrándose: mosquitos, zancudos y manta-blanca (Diptera), algunas orugas de mariposas (Lepidoptera); chinches (Hemiptera); chicharras (Homoptera) y avispas (Hymenoptera: Vespidae); grillos y saltamontes (Orthoptera); comejenes (Isoptera), milpiés (Diplopoda); ciempiés (Chilopoda) y hormigas (Formicidae, Hymenoptera)



Figura 43. Orthoptero, avistado en el área de influencia del túnel de desvío
Fuente: Asociación Geodata - Astec

Aspectos Ecológicos

La cobertura vegetal silvestre del área de estudio ha sido transformada (reemplazo de especies silvestres arbóreas nativas por cultivos y pastizales) desde la década de los 60 - proceso de colonización, situación que ha conllevado a que la mayoría de las especies de insectos pierdan sus sitios de reproducción, ovoposición, alimentación, protección, lo que ha llevado a un continuo detrimento de las comunidades de insectos, expresado en una drástica disminución de la diversidad y una afección en la distribución de las poblaciones.

En Guayllabamba, el paisaje estuvo constituido en su mayor parte por zonas intervenidas cuya vegetación se hallaba en estado de sucesión inicial donde suelen generarse muy pocos microhábitats de complejidad simple, albergando a insectos generalistas y pioneros. Se registraron cuatro categorías alimenticias: depredadores, fungívoros, herbívoros y finalmente los carroñeros.

La suplantación del bosque por pastizales, ha generado afecciones ecológicas sobre las comunidades de invertebrados terrestres lo que ha incidido en una disminución de los grupos de insectos que cumplen importantes roles en la pirámide alimenticia, es así, que se determinó que existe una baja proporción de grupos de carroñeros situación que afectaría a importantes procesos ecológicos como es el reciclaje de materia orgánica.

Medio Socioeconómico

Dentro del área de influencia del proyecto de construcción del túnel de desvío se identificaron en el flanco derecho del río Guayllabamba ocho predios dentro de los cuales en cinco se encuentran unidades habitacionales pero solo una de ellas se encuentra habitada por 5 personas, en otro predio se localiza la Escuela San Roque perteneciente a la comunidad del mismo nombre, los otros dos predios se encuentran baldíos, son dedicados a pastos o cultivos de subsistencia. La zona del flanco izquierdo es una ladera en donde no se identificaron predios.

7.3.3 Identificación de sitios contaminados o fuentes de contaminación*

La única fuente de contaminación más relevante es la del río Guayllabamba siendo este el principal curso de agua del área del proyecto, la principal causa de esta contaminación se debe a que este río recibe las aguas servidas del Distrito Metropolitano de Quito, además de las aguas servidas a simple vista se pudo determinar que se encuentra altamente impactado en su calidad por la presencia de basura en sus orillas y el mal olor del mismo.

Otro aspecto que merece especial atención y en relación directa con el continuo crecimiento del área urbana es el hecho de que menos del 1% de las aguas grises y negras se tratan en Quito (FONAG 2009). No existen plantas de tratamiento a gran escala y solo se cuentan dentro de ese porcentaje a las industrias que cumplen con la normativa ambiental municipal.

*Nota: Diseño definitivo del Proyecto Hidroeléctrico Chontal

7.3.4 Identificación y análisis de bienes y servicios ambientales

Agricultura

La mayoría de la población residente en la comunidad se dedica a la agricultura y la ganadería. Con respecto a la primera actividad se pudo establecer que la mayoría de la producción local está básicamente enfocada a satisfacer las demandas de las

familias y es para el autoconsumo. Los principales productos agrícolas son: la yuca, el camote, zanahoria, plátano, lechuga, col, maní, café.

La mayor producción agrícola está dedicada al tomate, pimiento, fréjol, morochillo, estos productos en su mayoría sirven para satisfacer necesidades básicas, o son comercializados principalmente en los mercados de Ibarra. Los precios de estos, están sujetos a las variaciones del mercado.

Con respecto a la ganadería destinada al autoconsumo, se pudo establecer que existe una actividad incipiente de ganadería vacuna y porcina, mientras que existe en las unidades familiares la presencia de cría de gallinas y cuyes destinada estrictamente al consumo familiar

Peces

La riqueza ictiológica de este sector de acuerdo a entrevistas realizadas a los moradores de la zona se determinó que no se la realiza en el cauce del río Guayllabamba debido al grado de contaminación que posee el mismo.

Cacería

Con respecto a la actividad de la caza, esta ha venido disminuyendo debido a la expansión de las actividades humanas, aunque eventualmente se aprovecha la carne de animales como el puyago (guatín), la guanta, la pava de monte, venado, armadillos.

Turismo

El turismo en la zona del Túnel no se la realiza, ésta actividad está orientada a los alrededores de la zona del proyecto en donde existen bosques protectores, que constituyen fuentes de turismo.

Agua Para Consumo Humano

En el área del proyecto no existe ninguna población asentada, sin embargo en las comunidades aledañas manifiestan tener un suministro de agua más o menos fiable, las familias acceden al servicio de agua entubada, o a través de agua de vertientes, mientras que algunas familias no tienen agua y para obtenerla tienen que recorrer largas distancias. En la mayoría de comunidades se dispone de agua entubada no potable y en algunas ni siquiera hay agua entubada.

Áreas Protegidas

El proyecto de apertura del túnel de desvío no se encuentra dentro de ninguna Área Protegida como tampoco de un Bosque Protector.

7.4 Descripción de las actividades del proyecto, obra o actividad

7.4.1 Partes, acciones y obras físicas

El túnel de Desvío consta de las siguientes partes:

- Portal de entrada
- Conducción
- Portal de salida

La finalidad del túnel de desvío es de ser una obra de acceso para la construcción de la presa en el río Guayllabamba. El túnel de desvío se encuentra en la margen izquierda del río, tiene una longitud de 402.72 m. aproximadamente a una cota de 667 msnm.

El inicio del Túnel de desvío de 402.72 metros de longitud aproximadamente, requiere que se excave una boca de portal (la entrada) hacia un costado de la colina, a una cota aproximada de 667 msnm (metros sobre el nivel del mar).

La construcción de la rampa seguirá el típico ciclo de perforación, voladura, remoción de material y reforzamiento con pernos de anclaje.

La geología del frente expuesto del paredón será mapeada e interpretada para encontrar la roca más competente, tanto en el portal como detrás de la superficie del frente de roca. Un sistema de sostenimiento será diseñado para la porción subterránea de la excavación de la construcción del portal.

Para preparar el paredón, se retirará el material excedente con una excavadora. La excavadora continuará raspando y cavando tan profundo como sea posible antes de que se utilicen las técnicas de perforación y voladura para excavar el banco final del portal. Para llegar a la parte superior del túnel (Portal), se construirá un camino temporal con una longitud de aproximadamente 250 metros.

Para la construcción del túnel de desvío es necesaria la construcción de ataguías temporales alrededor de los portales de entrada y salida

7.4.2 Ciclo de vida de proyecto

El ciclo de vida del túnel de Desvío tendrá un tiempo de vida limitado, ya que solamente funcionará mientras se realice la construcción de la Presa, una vez terminado este proceso se procederá a taponar la entrada y salida del túnel de manera permanente.

7.4.3 Cronograma de actividades del proyecto

ACTIVIDAD	ME	ME	ME	ME	ME	MES 6	ME	ME	ME	ME	ME	MES 12	ME	ME	ME	ME	ME	MES 6
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11		S1	S2	S3	S4	S5	S6
Construcción Obra de Entrada																		
Excavación y sostenimiento del túnel a la entrada																		
Excavación y sostenimiento del túnel a la salida																		
Construcción Obra de Salida																		

7.4.4 Descripción de las actividades de acuerdo al Ciclo de Vida

Las actividades que se realizarán de acuerdo a su ciclo de vida son:

- Limpieza y desbroce
- Construcción del Portal de Entrada
- Excavación y sostenimiento del Túnel
- Construcción del portal de Salida
- Elaboración del tapón para el cierre permanente del túnel

7.4.5 Insumos requeridos

- Transporte para acarreo de material
- Herramientas manuales
- Retroexcavadora
- Equipo de inyección
- Hormigón
- Piedra

7.4.6 Mano de obra requerida

En general para todas las actividades que se van a realizar se necesita:

- Capataz
- Operador de maquinaria pesada
- Ayudantes
- Peones

7.5 Determinación de áreas de influencia y áreas sensibles

7.5.1 Área de influencia

El área de influencia constituye el área o espacio de intervención donde, de modo directo e inmediato, se manifiestan los impactos generados por las actividades. Es

necesario entonces determinar el alcance geográfico de cada uno de los principales impactos y de ellos escoger el que tenga el mayor alcance.

Para el presente caso, este constituye el impacto por las voladuras para la apertura del Portal de ingreso al túnel.

Para el análisis se han considerado dos casos especiales de generación de ruido: a) El ruido de explosiones en el Portal, limitado a 130 dB(A) y, b) El ruido del tránsito pesado sobre las vías existentes 90 dB(A).

En función de los niveles de ruido y las condiciones climáticas de la zona del proyecto, se determinaron las ecuaciones de atenuación para cada una de las fuentes representativas.

Después de haber obtenido los valores de ruido en dB(A) y dB(C), conjuntamente con la distancia desde la fuente, se ajustan estadísticamente estos valores a una ecuación logarítmica, la cual servirá para calcular la reducción del ruido desde las fuentes hasta una distancia tal que se alcance el valor de ruido de fondo más 10 dB(A).

Las principales actividades que causaran niveles altos de ruido son las voladuras y el tráfico vehicular, por lo que por medio de las ecuaciones de atenuación se calcularon las distancias a las que deben encontrarse habitantes para no ser afectados por el ruido producido, dando como resultado que para voladuras en la Boca del Portal se debe estar a mínimo 2.500 metros y para Tráfico vehicular a una distancia mínima de 35 metros de las vías.

7.5.2 Áreas sensibles

El presente apartado determina la existencia de áreas ambientalmente sensibles para los diferentes componentes: físico, biótico y socioeconómico.

El análisis respectivo se concentra en el área de la apertura del túnel de desvío. Para determinar la sensibilidad ambiental, se consideró la siguiente escala:

1. Baja
2. Media
3. Alta

Áreas de Sensibilidad Medio Físico

Desde el punto de vista físico, la sensibilidad ambiental está relacionada con la posibilidad de que los procesos que puedan provocar degradación del ambiente, se incrementen en cantidad, calidad o en función del recurso.

Sensibilidad a Deslizamientos

La combinación de los factores y parámetros se realiza considerando que los deslizamientos ocurren cuando en una ladera, compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos). Bajo estas condiciones, los factores externos y dinámicos, como son la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene en la ladera.

Los resultados se indican en el cuadro a continuación:

Tabla 55. *Sensibilidad a Deslizamientos*

DES LIZAMIE N TOS	Túnel de desvío		
	Sensibilidad	ha.	%
	Baja	0	0
	Media	0	0
	Alta	100	100
	TOTAL	0,65	100

Nota: Asociación GEODATA - ASTEC

Áreas de sensibilidad medio biótico

Dentro de la caracterización de áreas sensibles se determinó una zona frágil en el área de influencia del proyecto (Túnel de desvío).

Los objetivos propuestos para el análisis fueron:

1. Evaluar las condiciones actuales de la quebrada (grietas) y su zona de influencia,
2. Determinar que especie de ave hace uso de la quebrada y estimar el número de individuos,
3. Determinar las condiciones ambientales que se encuentra el área de estudio,
4. Identificar los posibles impactos ambientales que estén afectando a la quebrada y
5. Determinar las medidas preventivas que minimicen los posibles impactos a la quebrada.

Áreas de sensibilidad medio socioeconómico

Las áreas de sensibilidad socioambiental están dadas por los siguientes parámetros:

1. Cantidad de población dentro de las áreas de influencia directa e indirecta
2. Presencia y acumulación de infraestructura social contigua a las áreas propuestas dentro de la construcción del túnel de desvío
3. Rechazo o aceptación a la construcción del túnel de desvío
4. Rechazo o aceptación sobre el trabajo de la empresa
5. Percepción sobre los niveles de contaminación desprendidos de la construcción
6. Percepción sobre potencial afectación a las áreas protegidas
7. Percepción sobre afectaciones a la salud de los habitantes
8. Potencial afectación a las áreas protegidas

La sensibilidad se determina con una calificación de 0 a 3. Cero (0) representa ausencia de población y/o infraestructura social así como una percepción de aceptación total a la industria, la empresa o una percepción de baja contaminación. De la misma manera el valor máximo (3) representa áreas densamente pobladas junto

a la infraestructura, rechazo situacional a la industria o una percepción negativa frente al trabajo social y ambiental de la empresa.

Tabla 56. *Criterios de calificación para la sensibilidad ambiental*

Parámetro	0	1	2	3
Cantidad de población dentro de las áreas de influencia directa e indirecta	Cero habitantes por Km2 en un radio de 500 metros	<15 Hab por Km2 en un radio de 500 metros	> 5 Hab./Km2 <50 Hab Km2 en un radio de 500 metros	> 50 Hab Km2 centros poblados con características amanzanadas a 500 metros de la plataforma
Presencia y acumulación de infraestructura social contigua a las áreas del túnel de desvío	No existe infraestructura social a 500 metros de la infraestructura	Infraestructura social a menos de 500 metros a la redonda y más de 200 metros	Infraestructura social a menos de 200 metros y más de 100 metros	Infraestructura social en un radio de 100 metros de la plataforma
Rechazo o aceptación al proyecto	Total aceptación a la infraestructura	Aceptación parcial a la industria depende del tipo de negociaciones	Rechazo parcial a la industria las negociaciones y acuerdos con la comunidad están sujetos a variaciones drásticas	Rechazo frontal a las obras, las negociaciones a las que se pueden llegar no garantiza la fluidez del proyecto
Rechazo o aceptación sobre el trabajo de la empresa	Total aceptación al trabajo socioambiental	Aceptación parcial al trabajo socioambiental	Rechazo parcial al trabajo socioambiental	Rechazo frontal al trabajo socioambiental, los interlocutores de negociación son altos ejecutivos del departamento de medio ambiente y asuntos comunitarios
Percepción sobre los niveles de contaminación desprendidos de la construcción	La gente no cree que hay contaminación	La gente cree que hay contaminación pero no le afecta	La gente cree que hay contaminación y que la afectación a sus propiedades es progresiva	La gente cree que hay contaminación, que le afecta, que es progresiva y acumulativa
Percepción sobre potencial afectación a las áreas protegidas	No hay afectación a las áreas naturales	Existe cercanía a áreas protegidas, pero la posibilidad de afectación es remota si se toman medidas ambientales	Existe cercanía a áreas protegidas, pero la posibilidad de afectación es probable, aunque se tomen medidas ambientales	Existe cercanía a áreas protegidas, pero la posibilidad de afectación es inminente, aunque se tomen medidas ambientales
Percepción sobre afectaciones a la salud de los habitantes	No hay afectación	La gente cree que hay perturbación a la salud, pero no se siente afectada	La gente cree que hay perturbación a la salud y que ellos y ellas están sujetos a una afectación progresiva	La gente cree que es afectada en su salud por las actividades constructivas, que la perturbación es progresiva y acumulativa

Nota: Asociación GEODATA - ASTEC, 2010.

7.6 Análisis de riesgo

- Riesgos a la Salud y Seguridad Laboral

Impacto

- Generación y aumento del riesgo a la salud y seguridad laboral.

Medidas de Mitigación

- Realizar controles médicos periódicos.
- Condiciones óptimas de higiene, alojamiento, nutrición en campamentos.
- Dotación de equipos de seguridad para todo el personal.
- Señalización laboral en los campamentos.
- Capacitación y educación ambiental a las diferentes cuadrillas (charlas de inducción).
- Implementar un Programa de monitoreo y seguimiento ambiental.
- Limitar la carga de explosivos durante las voladuras o explosiones para no generar más de 130 dB(A).

Riesgos de Explosiones e Incendios

Impacto

- Riesgos de explosiones o incendios por el inadecuado manejo y almacenamiento de explosivos (polvorín).

Medidas de Mitigación

- Cumplir con las normas nacionales para el almacenamiento y transporte de productos químicos peligrosos (Norma INEN 2266:10), etiquetado y rotulación de los recipientes (Norma INEN 2288:00). No se podrán almacenar productos químicos peligrosos (combustibles, reactivos, explosivos) en instalaciones o

campamentos que no cuenten con sistemas de contención apropiados para almacenarlos.

- Mitigar en la fuente de generación de ruido mediante construcciones con aislamiento acústico. Utilizar bases anti vibratorias en los equipos de generación eléctrica y limitar el uso simultáneo de explosivos, especialmente en las actividades de apertura del túnel y desarrollo inicial del mismo.
- Registrar parámetros de operación rutinaria para cada día de trabajo, como son: la variación horaria del número de personas dentro del túnel, número de cuadrillas en operación, cantidad de explosivos ingresados, avance del reforzamiento geotécnico, maquinaria de construcción permanente dentro del túnel, variación horaria del tipo y número de maquinaria móvil (no permanente) dentro del túnel, variación del volumen de sustancias químicas peligrosas (por ejemplo, combustibles) que ingresan, nivel de llenado del tanque de combustible del equipo móvil que ingresa.
- El personal que maneja explosivos o trabaja cerca de explosivos deberán leer y familiarizarse con los pros y contras que son descritos por el fabricante para cada caso de detonadores explosivos y explosivos en general.
- Únicamente personas calificadas y autorizadas deberán manejar y usar explosivos.
- La Compañía o sus contratistas deberán mantener un registro de inventario y uso de todos los explosivos, de acuerdo a las regulaciones locales.
- Mantener un registro fotográfico de la ubicación de los explosivos previo a cada voladura, que incluya el código y fecha de la misma
- No almacenar, transportar o usar agentes explosivos o detonantes cuando exista riesgo a la vida o a las propiedades.
- No se dejará material explosivo almacenado sin que haya una persona responsable que esté supervisando, excepto cuando sea un local aprobado para almacenamiento sin supervisión.
- Utilizar únicamente herramienta, máquinas, equipo, materiales y procedimientos, dispositivos o técnicas que sean aprobadas para el trabajo.
- Todas las herramientas, máquinas, equipos o dispositivos usados con explosivos deberán mantenerse en buenas condiciones y ser chequeados o probados

periódicamente para establecer que funcionan adecuadamente y de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

- No detonar explosivos en áreas congestionadas o cerca de cualquier estructura, vía de ferrocarril, autopista, líneas eléctricas, líneas de comunicación, recipientes de almacenamiento u otras instalaciones que puedan ser dañadas.
- No combatir el fuego que esté en inminente peligro de entrar en contacto con explosivos. Mover a todos los empleados a un área segura y no dejar que ninguna persona entre al área de incendio.

Riesgos de Asfixia

Impacto

- Acumulación de gases tóxicos o gases que desplazan al aire respirable que puede ocasionar asfixia.

Medidas de Mitigación

- Existencia de adecuada ventilación al interior del túnel.
- Garantizar el abastecimiento permanente de energía eléctrica a los sistemas de ventilación del túnel.
- Implementar un sistema de alarmas y medidores automáticos de gases combustibles dentro del túnel.

7.7 Identificación y definición de impactos

Se identificarán y definirán las acciones del proyecto, el proceso de la evaluación de impactos ambientales tendrá la descripción de las actividades y posibles fuentes de contaminación y/o alteración.

Metodología de evaluación de impactos

Para la evaluación de posibles impactos se toma en cuenta la matriz causa – efecto, determinando los factores ambientales del área del proyecto y las actividades que podrían generar algún tipo de impacto.

Para la identificación de impactos se toma en cuenta la matriz factor – acción, en donde se evalúa la importancia de los actores versus la magnitud del impacto.

Los valores de magnitud de impactos se presentan en un rango de 1 a 10.

Tabla 57. *Valores de las características de los impactos*

Naturaleza	Duración	Reversibilidad	Probabilidad	Intensidad	Extensión
Benéfico = +1	Temporal = 1	A corto plazo = 1	Poco Probable = 0.1	Baja = 1	Puntual = 1
Detrimente = -1	Permanente = 2	A largo plazo = 2	Probable = 0.5	Media = 2	Local = 2
			Cierto = 1	Alta = 3	Regional = 3

Nota: Asociación GEODATA – ASTEC, 2010

Naturaleza: La naturaleza o carácter del impacto puede ser positiva (+), negativa (-), neutral o indiferente lo que implica ausencia de impactos significativos. Por tanto, cuando se determina que un impacto es adverso o negativo, se valora como “-1” y cuando el impacto es benéfico, “+1”.

Intensidad: La realización del proyecto y las acciones a realizarse, puede provocar un efecto particular sobre cada componente ambiental.

Alto: Si el efecto es obvio o notable.

Medio: Si el efecto es notable pero difícil de medirse o de monitorear.

Bajo: si el efecto es sutil o casi imperceptible.

Duración: Corresponde al tiempo que va a permanecer el efecto.

Permanente: El tiempo requerido para la fase de operación.

Temporal: El tiempo requerido para la fase de instalación.

Extensión: Corresponde a la extensión espacial y geográfica del impacto con relación al área de estudio. La escala adoptada para la valoración fue la siguiente:

Regional: Si el efecto o impacto sale de los límites del área del proyecto.

Local: Si el efecto se concentra en los límites de área de influencia del proyecto.

Puntual: Si el efecto está limitado a la “huella” del impacto.

Reversibilidad: En función de su capacidad de recuperación:

A corto plazo: Cuando un impacto puede ser asimilado por el propio entorno en el tiempo.

A largo plazo: Cuando el efecto no es asimilado por el entorno o si es asimilado toma un tiempo considerable.

Probabilidad: Se entiende como el riesgo de ocurrencia del impacto y demuestra el grado de certidumbre en la aparición del mismo.

Poco Probable: El impacto tiene una baja probabilidad de ocurrencia.

Probable: El impacto tiene una media probabilidad de ocurrencia.

Cierto: El impacto tiene una alta probabilidad de ocurrencia.

Los valores de magnitud se determinaron de acuerdo a la siguiente expresión:

$M = \text{Naturaleza} * \text{Probabilidad} * (\text{Duración} + \text{Reversibilidad} + \text{Intensidad} + \text{Extensión})$

De acuerdo a estos criterios y a la metodología de evaluación, los impactos positivos más altos tendrán un valor de 10 cuando se trate un impacto permanente, alto, local, reversible a largo plazo y cierto ó -10 cuando se trate de un impacto de similares características pero de carácter perjudicial o negativo.

De esta forma, el valor total de la afectación se dará en un rango de 1 a 100 o de -1 a -100 que resulta de multiplicar el valor de importancia del factor por el valor de magnitud del impacto, permitiendo de esta forma una Jerarquización de los impactos en valores porcentuales; entonces, el valor máximo de afectación al medio estará dado por la multiplicación de 100 por el número de interacciones encontradas en cada análisis.

7.7.1.1 Identificación de las actividades

- **Movimiento de tierras: desbroce, desbosque y limpieza**

Esta actividad consiste en despejar el terreno necesario para el emplazamiento del Portal de ingreso y salida del túnel de acuerdo con las especificaciones y diseños de ingeniería. En las áreas indicadas se eliminará todo tipo de vegetación. También se realiza la remoción de la capa de tierra vegetal hasta la profundidad indicada en los diseños, así como la disposición de todo el material proveniente de la operación de desbroce, desbosque y limpieza. Se realizará un corte de tierra para el emplazamiento y operación de la maquinaria que hará la apertura del portal y luego el retiro del material de corte y perforación dentro del portal.

- **Apertura del Portal de Túnel**

Esta es la actividad donde se producen los impactos más significativos sobre la fauna a causa del uso de explosivos en superficie.

- **Transporte y disposición de material corte y perforación**

Esta actividad está relacionada con todas las actividades constructivas, las cuales provocan el desecho de todo material, así como el transporte de material de préstamo para la construcción de vías y obras civiles.

- **Desarrollo interior del túnel**

Esta actividad consiste en la perforación en la roca para la colocación de los explosivos, la explosión o voladura de la roca, su desalojo y transporte hasta el botadero de roca sobrante.

Impacto al Medio Ambiente

- **Calidad del Aire**

Se ocasionará efectos leves o parciales en los caseríos aledaños debido a la generación de polvo desde el portal y las vías de acceso por el transporte del material y perforaciones, lo que puede provocar problemas de tipo respiratorio, dermatosis, etc., al igual que a los trabajadores a cargo de la obra.

Todos los trabajos a realizarse en la construcción producen el levantamiento de tales partículas, que puede causar efecto en el ecosistema.

Existirá efectos en las zonas de bosque por la disminución permanente de las áreas.

Se prevé una mínima la contaminación por gases de combustión; los gases provendrán principalmente de los equipos y maquinarias cuyos motores de combustión interna se hallen defectuosos o mal calibrados.

Se debe apropiarse una zona para utilizarla como botadero de roca, esta área será una fuente de emisiones de material particulado al ambiente, ya sea por el apilamiento de roca o desde los camiones durante la descarga de los desechos de rocas.

- **Disposición de Desechos Líquidos**

Será indispensable la adecuada disposición de los desechos líquidos, sólidos y gaseosos para evitar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por lixiviado provenientes de la basura orgánica.

- **Transporte de Materiales**

Se deberán evitar la acumulación de materiales de construcción como residuos de hormigón, materiales pétreos, tuberías, accesorios, maderas, etc., a más de tierra y roca sobrante. Al no removerlos o desalojarlos producirán la acumulación de materiales con efectos negativos para la salud de los trabajadores, para los pobladores del sector donde esos se acumulen, y tendrá un efecto perjudicial en las zonas de actividades productivas; habrá interferencia en el uso de esas áreas; afectará

negativamente en distintos sectores la calidad del aire y será nociva para el paisaje circundante.

- **Construcción del Portal de Ingreso**

El tránsito vehicular y peatonal será afectado de manera negativa, debido a las actividades de transporte a realizarse en la obra (acarreo de materiales de construcción, acumulación de roca de desecho).

Degradación de las aguas superficiales en cuanto a la concentración de sólidos suspendidos y disueltos, debido a la erosión del suelo en las áreas alteradas, en las pilas de materiales y en los sitios de almacenamiento, así como la reducción de la capacidad de transporte de las corrientes debido a procesos de sedimentación de sólidos.

Degradación de la calidad del aire y la visibilidad a causa de las partículas (voladuras, tráfico vehicular, erosión eólica). Disminución de la calidad del aire por emisiones de gases de combustión producto de la quema de combustibles fósiles para mover maquinaria, polvo proveniente de las voladuras en el portal e inicialmente en el desarrollo mismo del túnel.

- **Ruido**

Molestias por ruido a los pobladores de las zonas aledañas y a los trabajadores.

Debido al uso de concretas, vibradores y por el uso de vehículos, en especial camiones, el ruido y vibraciones se darán en forma temporal y local, en el rango de 90 – 100 dB (de molesto a doloroso), además del uso de máquinas de trabajo necesarias para las pruebas de motores, bombas entre otros para el buen funcionamiento de equipos, estructuras.

En la apertura del portal y hasta unos 50 metros aproximadamente, el principal impacto será el ruido de las explosiones.

Se escogieron dos (2) casos especiales de generación de ruido: a) El ruido de explosiones en el Portal y, b) El ruido del tránsito pesado sobre las vías existentes.

Ruido de Explosiones en el Portal

En nivel de ruido provocado por las explosiones en el área de apertura del Portal se ha estimado alrededor de 130 dB(A), valor que ha sido tomado de la bibliografía consultada, ya que no existen datos medidos en nuestro medio sobre este tipo de actividades. La ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists) recomienda que por ninguna situación se exponga al personal a más de 140 dB(A) porque puede provocarse daños auditivos permanentes; por lo tanto, la cantidad de explosivos será controlada de forma de no sobrepasar los 130 dB(A).

Durante la construcción, los niveles de ruido generados por la maquinaria, serán relativamente elevados durante las horas de trabajo. Los niveles máximos de ruido dependerán de la cantidad de maquinaria que trabaje simultáneamente.

Hay que recordar que el ruido expresado en dB, es una representación logarítmica del nivel de intensidad del sonido; es igual a 10 veces la razón entre la intensidad de un sonido (I) y la intensidad sonora de referencia (I₀):

$$I \text{ (dB)} = 10 * \log (I / I_0).$$

Donde,

$$I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$$

Es decir, al añadir varias fuentes de ruido, su acumulación en dB no es aritmética, pues responde a una función logarítmica de las intensidades.

Tabla 58. *Niveles de ruido generados por maquinaria de construcción estándar*

Elemento	Ruido Db(A)
Cargadora frontal	85
Bulldócer	85
Volqueta	91
Tanquero	91
Camión	85
Pluma	85
Grúa móvil	85

Elemento	Ruido Db(A)
Soldadora móvil	72
Generador de emergencia	72
Compresor de aire	72
Bomba de succión	70
Bomba para pruebas hidrostáticas	70
Compactadora pata de cabra	85
Compactadora de rodillo	72
Compactadora hidráulica	72
Concretera	91
Bomba de concreto	70
Camión de asfaltado	91
Asfaltadora	85
Rodillo	85

Nota: Estudio de Impacto Ambiental Definitivo de la Subestación Baños

Tomando en cuenta el cuadro presentado se puede estimar el peor escenario posible y la máxima afectación probable de ruido.

Tabla 59. *Nivel de ruido estimado para el peor escenario posible*

Elemento	Ruido Db(A)
Cargadora frontal	85
Volqueta	91
Camión	85
Grúa móvil	85
Soldadora móvil	72
Generador de emergencia	72
Compresor de aire	72
Compactadora hidráulica	72
Concretera	91
Bomba de concreto	70
Peor escenario posible	95,49

Nota: Asociación GEODATA – ASTEC, 2010

- **Procesos Geomorfodinámicos**

Las actividades constructivas requieren de movimientos de suelos, los mismos que pueden generar un cambio en la estabilidad de los taludes en las áreas de implementación de la infraestructura, generando la inestabilidad de suelos, donde pueden producirse proceso de erosión y morfodinámicos. El impacto será parcial, de intensidad baja a media, localizada, permanente y reversible a corto plazo.

La pérdida de las características morfológicas (porosidad, estructura) y su compactación serán consecuencia de movimiento de personal, estacionamiento de

maquinarias y equipos en áreas determinadas, serán impactos parciales, de intensidad media, puntual, permanente y reversible a largo plazo.

- **Calidad del recurso hídrico**

La calidad del recurso hídrico será alterada desde el punto de vista físico, químico y/o microbiológico, por la presencia del personal, movilización de rocas sobrantes, remoción de vegetación y por el movimiento de tierras que producirán el aumento en la sedimentación de los cuerpos de agua, la extracción de material, estos impactos son ciertos, temporales, de intensidad baja a media, locales y reversibles a corto plazo, también existe la posibilidad que se ocasione un impacto detrimento en la calidad del recurso agua a causa del uso de maquinaria y equipos con combustible, lubricantes entre otros debido a goteo o derrame de las sustancias antes indicadas.

La presencia de personal y las actividades de construcción demandarán un consumo de agua, provocando un impacto detrimento, cierto, de intensidad baja, puntual, reversible a corto plazo sobre el uso del recurso agua.

Impacto sobre la Flora y Fauna

- **Impacto a la Flora**

La construcción del portal y adecuación de su área de ingreso, provocará una alteración de la fisonomía natural de la vegetación existente en dichos puntos o una pérdida del hábitat animal, por tanto los efectos potenciales causados por la construcción del proyecto son bajos.

Los impactos identificados sobre la flora serán permanentes, puntuales, bajos, reversibles a corto plazo, y ciertos.

- **Impacto a la Fauna**

Los impactos que la construcción del portal y tunel podría generar a la fauna son: a) la pérdida de la cubierta vegetal en el área de intervención reduciendo la cantidad de

hábitats y microhábitats para el desarrollo de la fauna terrestre. Este impacto, se consideraría como directo y negativo al afectar inmediatamente reduciendo su riqueza y abundancia de animales; esto puede ser mitigable si se aplican medidas para evitar y reducir los impactos durante el tiempo de la fase de construcción.

Impacto sobre el Componente Socioeconómico

Tres factores de intervención: contratación de fuerza de trabajo local, adquisición de servicios de la población local y pago de compensaciones. Los dos primeros factores suponen un impacto de corta duración, de extensión local y que dejará de actuar en cuanto se termine la etapa de construcción del proyecto.

Evaluación de Impactos

Tabla 60. *Matriz de Identificación de Impactos*

Factores Ambientales	Acciones			
	Movimiento de Tierras: Desbroce y Limpieza	Apertura del Portal del Túnel	Transporte y disposición de material de corte y perforación	Desarrollo interior del túnel
1. Atmosféricos				
Calidad del aire	*	*	*	*
Nivel de Ruido	*	*	*	*
2. Recurso Agua				
Calidad del agua	*	*	*	*
Cantidad del agua		*		*
Uso del recurso				
3. Recurso Suelo				
Calidad del suelo	*			
Uso del suelo	*			
4. Procesos geomorfodinámicos				
Erosión	*		*	
Sedimentación	*	*	*	*
Morfología	*	*		*
Compactación	*			
5. Flora				
Vegetación Natural				
Pastos y Cultivos	*		*	
6. Fauna				
Mamíferos	*	*		
Aves	*	*	*	
Reptiles, anfibios e insectos	*	*	*	
Fauna acuática (peces y macrobentos)	*	*	*	*
7. Socio-Económicos				
Agricultura y ganadería	*			
Empleo Local	*	*	*	*
Aspectos paisajísticos	*	*		
Salud y seguridad pública	*	*	*	

	Acciones			
Factores Ambientales	Movimiento de Tierras: Desbroce y Limpieza	Apertura del Portal del Túnel	Transporte y disposición de material de corte y perforación	Desarrollo interior del túnel
Servicios básicos e infraestructura			*	*
Calidad de vida de la comunidad	*	*	*	*
8. Salud y seguridad				
Salud y seguridad laboral	*	*	*	*

Nota: Asociación GEODATA – ASTEC, 2010. Elaborado por Andrea Gordón

Tabla 61. *Matriz de Evaluación de Impactos*

	Acciones					
Factores Ambientales	Movimiento de Tierras: Desbroce y Limpieza	Apertura del Portal del Túnel	Transporte y disposición de material de corte y perforación	Desarrollo interior del túnel	Sumatoria Total	% de afectación por factor
1. Atmosféricos						
Calidad del aire	-2,8	-14,0	-17,5	-14,0	-48,3	-12,1
Nivel de Ruido	-24,0	-42,0	-24,0	-36,0	-126,0	-31,5
2. Recurso Agua						
Calidad del agua	-45,0	-4,5	-36,0	-36,0	-121,5	-30,4
Cantidad del agua		-45,0		-36,0	-81	-40,5
Uso del recurso						
3. Recurso Suelo						
Calidad del suelo	-15,0				-15,0	-15,0
Uso del suelo	-28,0				-28,0	-28,0
4. Procesos geomorfodinámicos						
Erosión	-32,0		-16,0		-48,0	-24,0
Sedimentación	-32,0	-16,0	-32,0	-16,0	-96,0	-24,0
Morfología	-28,0	-4,9		-14,0	-46,9	-15,6
Compactación	-24,0				-24,0	-24,0
5. Flora						
Vegetación Natural						
Pastos y Cultivos	-24,0		-24,0		-48,0	-24,0
6. Fauna						
Mamíferos	-20,0	-48,0			-68,0	-34,0
Aves	-4,5	-3,6	-3,6		-11,7	-3,9
Reptiles, anfibios e insectos	-24,0	-30,0	-12,0		-66,0	-22,0
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-28,0	-35,0	-35,0	-28,0	-126,0	-31,5
7. Socio-Económicos						
Agricultura y ganadería	-1,6				-1,6	-1,6
Empleo Local	24,0	24,0	30,0	24,0	102,0	25,5
Aspectos paisajísticos	-42,0	-2,4			-44,4	-22,2
Salud y seguridad pública	-24,0	-2,4	-2,4		-28,8	-9,6
Servicios básicos e infraestructura			-14,0	-14,0	-28,0	-14,0
Calidad de vida de la comunidad	12,0	12,0	12,0	2,4	38,4	9,6
8. Salud y seguridad						
Salud y seguridad laboral	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-9,6	-2,4
Sumatoria total por acción	-365,3	-214,2	-176,9	-170,0	-926,4	
					Max de afectación	6000
					% de afectación	-15,4

Nota: Asociación GEODATA – ASTEC, 2010. Elaborado por Andrea Gordón

Tabla 62. *Matriz de Evaluación de Impactos – Significancia*

Factores Ambientales	Acciones			
	Movimiento de Tierras: Desbroce y Limpieza	Apertura del Portal del Túnel	Transporte y disposición de material de corte y perforación	Desarrollo interior del túnel
1. Atmosféricos				
Calidad del aire	a-	a-	a-	a-
Nivel de Ruido	b-	c-	b-	b-
2. Recurso Agua				
Calidad del agua	c-	a-	b-	b-
Cantidad del agua		c-		b-
Uso del recurso				
3. Recurso Suelo				
Calidad del suelo	a-			
Uso del suelo	b-			
4. Procesos geomorfodinámicos				
Erosión	b-		a-	
Sedimentación	b-	a-	b-	a-
Morfología	b-	a-		a-
Compactación	b-			
5. Flora				
Vegetación Natural				
Pastos y Cultivos	b-		b-	
6. Fauna				
Mamíferos	a-	c-		
Aves	a-	a-	a-	
Reptiles, anfibios e insectos	b-	b-	a-	
Fauna acuática (peces y macrobentos)	b-	b-	b-	b-
7. Socio-Económicos				
Agricultura y ganadería	a-			
Empleo Local	B+	B+	B+	B+
Aspectos paisajísticos	c-	a-		
Salud y seguridad pública	b-	a-	a-	
Servicios básicos e infraestructura			a-	a-
Calidad de vida de la comunidad	A+	A+	A+	
8. Salud y seguridad				
Salud y seguridad laboral	a-	a-	a-	a-

Nota: Asociación GEODATA – ASTEC, 2010.

Elaborado por Andrea Gordón

Análisis de Resultados con Respecto a la Evaluación de Impactos

El valor máximo de afectación negativa al medio sería de -6000 unidades (-100 unidades * 60 interacciones) cuando todos los impactos presenten las características más adversas; de esto, el valor resultante para el proyecto es de -926.4 que representa un impacto porcentual negativo del – 15.4%.

La mayoría de impactos se presentarán en la etapa constructiva en superficie y estarán relacionados con las actividades constructivas y alteración del medio como la remoción de la cobertura vegetal, la construcción de la obra civil y el túnel.

7.8 Plan de manejo ambiental

Del estudio de impactos ambientales, se ve la necesidad de definir normas que deben respetarse con el fin de prevenir o mitigar los efectos negativos a causa del proyecto.

Dichas actividades necesariamente conllevan dos tipos de acciones:

- La inclusión en los contratos de construcción de las normas de comportamiento y prevención de la contaminación ambiental durante la fase constructiva.
- La aplicación de leyes y reglamentos existentes a efectos de lograr también la reducción o eliminación de esos impactos negativos.

Dentro de las medidas de prevención a implementarse, la más importante de todas en la etapa de construcción es, aplicar por parte del Constructor y exigir por parte de la Fiscalización Ambiental del proyecto, el seguimiento a las siguientes leyes, normas y reglamentos aplicables a la ejecución del proyecto.

7.8.1 Plan de Prevención y Mitigación de Impactos, PPM

Tabla 63. *Plan de Prevención y Mitigación de Impactos, PPM*

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL					
PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS					
OBJETIVOS: Determinar los mecanismos para la prevención y mitigación de los impactos que se puedan generar en la construcción del túnel de desvío LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Ruido / Aire	Contaminación del aire por presencia de emisiones atmosféricas, incremento en los niveles de ruido	<ul style="list-style-type: none"> • Limitar la carga de explosivos durante las voladuras para que el ruido generado no rebase los 130 dB(A). • Mantenimiento periódico del equipo y maquinaria. • Hidratación de vías y áreas de almacenamiento temporal de material constructivo o acopio de material removido para evitar el exceso de polvo a través de aspersión de agua. • Establecer horarios y velocidad de circulación en la vía. • De exceder los límites permisibles establecidos para ruido industrial o los niveles de ruido de fondo para ruido ambiental, implementar mecanismos para la disminución del nivel de ruido. • Cumplir con el programa de monitoreo para verificar el cumplimiento de los límites permisibles de calidad de aire y nivel de ruido conforme lo establecido en el Anexo 4 y 5, Libro VI del TULAS; y la sección de prevención de ruido y emisiones del presente documento. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Presencia de polvo en el aire. ➤ Ruidos que no sean concordantes con sonidos de la naturaleza del sector. 	Se puede verificar el control de este impacto de manera visual y auditiva, viendo y escuchando si los ruidos y el polvo generado por esta actividad disminuye con el pasar del tiempo o no.	

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS					
OBJETIVOS: Determinar los mecanismos para la prevención y mitigación de los impactos que se puedan generar en la construcción del túnel de desvío LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Agua	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del recurso hídrico superficial por derrames o fugas de productos químicos, combustibles, lubricantes, aceites y otros y/o descargas no controladas de aguas negras y grises. Obstaculización de cuerpos hídricos por disposición de desechos. 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar descargar los contaminantes en cauces naturales o artificiales que desemboquen en ellos. Las descargas de agua serán tratadas hasta cumplir los límites permisibles, antes que sean enviadas al cuerpo receptor. En el caso de derrames accidentales tomar las acciones inmediatas para contener y recuperar el derrame y remediar la zona. Los materiales de excavación se dispondrán en zona bajo aprobación del Fiscalizador Ambiental sobre cotas superiores al nivel de crecida máxima. Se evitará ubicar equipo pesado en zonas anegables o con cauces no definidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de la coloración en los cauces existentes de la zona Control del desalojo de material constructivo y material producto del desbroce en sitios previamente definidos. Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros 	La verificación será visual observando que el cauce no tenga un color turbio.	
Geomorfología	<ul style="list-style-type: none"> Generación de procesos erosivos e inestabilidad de taludes. 	<ul style="list-style-type: none"> La erosión se controlará con la instalación de disipadores de energía en los taludes con la construcción de bermas, cunetas, mallas, etc. No depositar materiales directamente en las cuencas de los esteros o quebradas. 	<ul style="list-style-type: none"> Control del desalojo de material constructivo y material producto del desbroce en sitios previamente definidos. Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros	Se podrá verificar cuando se constate que no existe deslizamiento en la zona de taludes, y tampoco tener presencia de inundaciones luego de las lluvias en los esteros y quebradas.	
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad del suelo por 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar la destrucción de la cobertura vegetal fuera del área constructiva. 	<ul style="list-style-type: none"> Se observarán las especificaciones en 	Una vez terminado la	

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS					
OBJETIVOS: Determinar los mecanismos para la prevención y mitigación de los impactos que se puedan generar en la construcción del túnel de desvío LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
	contaminación con productos químicos, combustibles o cambios en sus características edáficas. • Disposición inadecuada de desechos líquidos y sólidos. • Cambio del uso del suelo	• Control de vertidos tóxicos al suelo (aceite, gasolina, productos químicos). • Previo a la colocación de grava, recuperar la capa vegetal. • Programa de Manejo de Desechos Sólidos. • Limpieza y recuperación del suelo • Implementar un Plan de Revegetación. • Implementar un Plan de contingencia para derrames. • Implementar un Programa de Abandono y Recuperación.	cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros. • Plan de Monitoreo para el cumplimiento de las diferentes especificaciones.	construcción del proyecto verificar que no existan zonas que se encuentren afectadas o contaminadas.	
Flora y Fauna	➤ Perturbación flora y fauna	• Limitar la carga de explosivos durante las voladuras o explosiones para no generar más de 130 dB(A). • Prohibir la caza, pesca, recolección, consumo, tráfico y/o comercialización de fauna o flora silvestres. • Impedir a los trabajadores movilizarse fuera de las áreas de trabajo sin autorización del jefe de obra. • Ingreso controlado de las cuadrillas. • Desbroce manual • Implementar un Plan de Revegetación. • Educación Ambiental y señalización.	• Implementar un Programa de Monitoreo y Seguimiento Ambiental.	Al realizar el estudio de impacto ambiental se realiza un censo de las especies existentes, se podría verificar haciendo un seguimiento del censo realizado al inicio de este estudio.	

Nota: Tabla para el control del manejo ambiental
 Elaborado por: Andrea Gordón

7.8.2 Plan de Manejo de Desechos, PMD

Tabla 64. *Plan de Manejo de Desechos, PMD*

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PROGRAMA DE MANEJO DE DESECHOS					
OBJETIVOS: Encontrar las medidas y estrategias para prevenir, tratar, mitigar y disponer los desechos peligrosos y no peligrosos. LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad del suelo por contaminación con productos químicos, combustibles o cambios en sus características edáficas. Disposición inadecuada de desechos líquidos y sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de vertidos tóxicos al suelo (aceite, gasolina, productos químicos). Implementar un Plan de contingencia para derrames. 	<ul style="list-style-type: none"> Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros. Plan de Monitoreo para el cumplimiento de las diferentes especificaciones. 		
Agua	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del recurso hídrico superficial por derrames o fugas de productos químicos, combustibles, lubricantes, aceites y otros y/o descargas no controladas de aguas negras y grises. Obstaculización de cuerpos hídricos por disposición de desechos. 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar descargar los contaminantes en cauces naturales o artificiales que desemboquen en ellos. Las descargas de agua serán tratadas hasta cumplir los límites permisibles, antes que sean enviadas al cuerpo receptor. En el caso de derrames accidentales tomar las acciones inmediatas para contener y recuperar el derrame y remediar la zona. Los materiales de excavación se dispondrán en zona bajo aprobación del Fiscalizador Ambiental sobre cotas superiores al nivel de crecida máxima. Se evitará ubicar equipo pesado en zonas anegables o con cauces no definidos 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de la coloración en los cauces existentes de la zona Control del desalojo de material constructivo y material producto del desbroce en sitios previamente definidos. <p>Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros</p>	La verificación será visual observando que el cauce no tenga un color turbio.	

Nota: Tabla para el control del Plan de Manejo Ambiental
Elaborado por Andrea Gordón

7.8.3 Plan de Comunicación, Capacitación y Educación Ambiental, PCC

Tabla 65. *Plan de Comunicación, Capacitación y Educación Ambiental, PCC*

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PROGRAMA DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL					
OBJETIVOS: Capacitar a todo el personal de la empresa para que puedan aplicar el Plan de Manejo Ambiental LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPIETAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Flora y Fauna	➤ Perturbación flora y fauna	<ul style="list-style-type: none"> Prohibir la caza, pesca, recolección, consumo, tráfico y/o comercialización de fauna o flora silvestres. Impedir a los trabajadores movilizarse fuera de las áreas de trabajo sin autorización del jefe de obra. Ingreso controlado de las cuadrillas. Educación Ambiental y señalización. 	<ul style="list-style-type: none"> Implementar un Programa de Monitoreo y Seguimiento Ambiental. 	Al realizar el estudio de impacto ambiental se realiza un censo de las especies existentes, se podría verificar haciendo un seguimiento del censo realizado al inicio de este estudio.	

Nota: Tabla para el control del manejo ambiental, programa de comunicación, capacitación y educación ambiental
Elaborado por Andrea Gordón

7.8.4 Plan de Contingencia, PDC

Tabla 66. *Plan de Contingencia, PDC*

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PROGRAMA DE CONTINGENCIA					
OBJETIVOS: Determinar las acciones para enfrentar los eventuales accidentes y emergencias que se presenten en la zona del proyecto. LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Agua	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del recurso hídrico superficial por derrames o fugas de productos químicos, combustibles, lubricantes, aceites y otros y/o descargas no controladas de aguas negras y grises. 	<ul style="list-style-type: none"> En el caso de derrames accidentales tomar las acciones inmediatas para contener y recuperar el derrame y remediar la zona. Los materiales de excavación se dispondrán en zona bajo aprobación del Fiscalizador Ambiental sobre cotas superiores al nivel de crecida máxima. Se evitará ubicar equipo pesado en zonas anegables o con cauces no definidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de la coloración en los cauces existentes de la zona Control del desalojo de material constructivo y material producto del desbroce en sitios previamente definidos. Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros 	La verificación será visual observando que el cauce no tenga un color turbio.	
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación con productos químicos, combustibles o cambios en sus características edáficas. Disposición inadecuada de desechos líquidos y sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de vertidos tóxicos al suelo (aceite, gasolina, productos químicos). Programa de Manejo de Desechos Sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros. Plan de Monitoreo para el cumplimiento de las diferentes especificaciones. 	Una vez terminado la construcción del proyecto verificar que no existan zonas que se encuentren afectadas o contaminadas.	

Nota: Tabla para el control del manejo ambiental, programa de contingencia.
Elaborado por Andrea Gordón

7.8.5 Plan de Seguridad y Salud ocupacional, PSS

Tabla 67. *Plan de Seguridad y Salud ocupacional, PSS*

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL					
PROGRAMA DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL					
OBJETIVOS: Establecer las normas para preservar la salud y seguridad del personal de la empresa. LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Salud y Seguridad Laboral	Generación y aumento del riesgo a la salud y seguridad laboral	<ul style="list-style-type: none"> • Limitar la carga de explosivos durante las voladuras o explosiones para no generar más de 130 dB(A). • Condiciones óptimas de higiene, alojamiento, nutrición en campamentos. • Dotación al personal de equipos de seguridad. • Capacitación y educación ambiental a las diferentes cuadrillas (charlas de inducción). • Implementar un Programa de monitoreo y Seguimiento ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controles médicos periódicos. • Señalización laboral en campamentos. 		

Nota: Tabla para el control del manejo ambiental, programa de seguridad y salud ocupacional.

Elaborado por Andrea Gordón

7.8.6 Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas, PRAA

Tabla 68. *Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas, PARA*

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PROGRAMA DE REHABILITACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS					
OBJETIVOS: Determinar los mecanismos para la rehabilitación de las áreas afectadas durante la construcción del proyecto LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Agua	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del recurso hídrico superficial por derrames o fugas de productos químicos, combustibles, lubricantes, aceites y otros y/o descargas no controladas de aguas negras y grises. 	<ul style="list-style-type: none"> En el caso de derrames accidentales tomar las acciones inmediatas para contener y recuperar el derrame y remediar la zona. Se evitará ubicar equipo pesado en zonas anegables o con cauces no definidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de la coloración en los cauces existentes de la zona Control del desalojo de material constructivo y material producto del desbroce en sitios previamente definidos. Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros 	La verificación será visual observando que el cauce no tenga un color turbio.	
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad del suelo por contaminación con productos químicos, combustibles o cambios en sus características edáficas. Disposición inadecuada de desechos líquidos y sólidos. Cambio del uso del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar la destrucción de la cobertura vegetal fuera del área constructiva. Control de vertidos tóxicos al suelo (aceite, gasolina, productos químicos). Previo a la colocación de grava, recuperar la capa vegetal. Programa de Manejo de Desechos Sólidos. Limpieza y recuperación del suelo Implementar un Plan de Revegetación. Implementar un Plan de contingencia para derrames. Implementar un Programa de Abandono y Recuperación. 	<ul style="list-style-type: none"> Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricantes, productos químicos y otros. Plan de Monitoreo para el cumplimiento de las diferentes especificaciones. 	Una vez terminado la construcción del proyecto verificar que no existan zonas que se encuentren afectadas o contaminadas.	

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PROGRAMA DE REHABILITACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS					
OBJETIVOS: Determinar los mecanismos para la rehabilitación de las áreas afectadas durante la construcción del proyecto LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal. RESPONSABLE: Andrea Gordón					PPM – 01
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Flora y Fauna	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perturbación flora y fauna 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitar la carga de explosivos durante las voladuras o explosiones para no generar más de 130 dB(A). • Prohibir la caza, pesca, recolección, consumo, tráfico y/o comercialización de fauna o flora silvestres. • Impedir a los trabajadores movilizarse fuera de las áreas de trabajo sin autorización del jefe de obra. • Implementar un Plan de Revegetación. • Educación Ambiental y señalización. • 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un Programa de Monitoreo y Seguimiento Ambiental. 	Al realizar el estudio de impacto ambiental se realiza un censo de las especies existentes, se podría verificar haciendo un seguimiento del censo realizado al inicio de este estudio.	
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alteración del paisaje actual 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un Plan de Revegetación. • Implementar un Programa de Monitoreo y Seguimiento Ambiental. • Implementar un Programa de Abandono y Restauración Ambiental. • 			
Asfixia	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de gases tóxicos o gases que desplazan al aire respirable que puede ocasionar asfixia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener adecuada ventilación dentro del túnel. • Garantizar el abastecimiento permanente de energía eléctrica a los sistemas de ventilación del túnel. • Implementar un sistema de alarmas dentro del túnel y medidores automáticos de gases combustibles dentro del mismo. 			

Nota: Tabla para el control del manejo ambiental, programa de rehabilitación de áreas afectadas.
 Elaborado por Andrea Gordón

7.8.7 Plan de Cierre, Abandono y Entrega del Área, PCA

Tabla 69. *Plan de Cierre, Abandono y Entrega del Área, PCA*

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL					
PROGRAMA DE CIERRE, ABANDONO Y ENTREGA DEL ÁREA					
OBJETIVOS: Realizar actividades para poder obtener la recuperación integral de las zonas					PPM – 01
LUGAR DE APLICACIÓN: Diseño del túnel de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Chontal.					
RESPONSABLE: Andrea Gordón					
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Agua	<ul style="list-style-type: none">Contaminación del recurso hídrico superficial por derrames o fugas de productos químicos, combustibles, lubricantes, aceites y otros y/o descargas no controladas de aguas negras y grises.	<ul style="list-style-type: none">En el caso de derrames accidentales tomar las acciones inmediatas para contener y recuperar el derrame y remediar la zona.	<ul style="list-style-type: none">Cambio de la coloración en los cauces existentes de la zonaControl del desalojo de material constructivo y material producto del desbroce en sitios previamente definidos.Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricanes, productos químicos y otros	La verificación será visual observando que el cauce no tenga un color turbio.	
Suelo	<ul style="list-style-type: none">Cambio del uso del suelo	<ul style="list-style-type: none">Limpieza y recuperación del sueloImplementar un Plan de Revegetación.Implementar un Plan de contingencia para derrames.Implementar un Programa de Abandono y Recuperación.	<ul style="list-style-type: none">Se observarán las especificaciones en cuanto al manejo de combustibles, aceites, lubricanes, productos químicos y otros.Plan de Monitoreo para el cumplimiento de las diferentes especificaciones.	Una vez terminado la construcción del proyecto verificar que no existan zonas que se encuentren afectadas o contaminadas.	
Flora y Fauna	<ul style="list-style-type: none">➤ Perturbación flora y fauna	<ul style="list-style-type: none">Implementar un Plan de Revegetación.Educación Ambiental y señalización.	<ul style="list-style-type: none">Implementar un Programa de Monitoreo y Seguimiento Ambiental.	Su verificación se realizará mediante un análisis visual, donde se evidencia la presencia de flora y fauna en las zonas donde se produjo el impacto.	

Nota: Tabla para el control del manejo ambiental, programa de cierre, abandono y entrega del área.

Elaborado por Andrea Gordón

CAPÍTULO 8

PRESUPUESTO

8.1 Definición de la metodología para obtener los precios unitarios de los rubros involucrados en el proyecto del sistema de desvío

Los precios unitarios comprenden los costos directos e indirectos. Los costos directos incluyen los tres componentes básicos: mano de obra, equipos de construcción y materiales; mientras que los indirectos se refieren a los gastos que debe incurrir el Contratista para la Licitación, preparación de la oferta, contratación, instalaciones, costos internos y externos a la obra, así como los imprevistos y utilidades.

Los precios que se utilizaron para el cálculo del presupuesto fueron actualizados de acuerdo al listado proporcionado por la Cámara de Construcción de Quito.

8.2 Análisis de los precios unitarios de los rubros más representativos del proyecto

Tabla 70. *Excavación del Túnel*

Excavación	Unidad	Cantidad de obra	Precio unitario	Total USD
Excavación en Suelo (cielo abierto)	m ³	3.300	5,73	18.909,00
Excavación en Roca (cielo abierto)	m ³	13.090	35,20	460.768,00
Excavación en Subterráneo, Roca Clase G1	m ³	24.190	61,57	1.489.378,30
Excavación en Subterráneo, Roca Clase G2	m ³	12.160	80,77	982.163,20
Excavación en Subterráneo, Roca Clase G3	m ³	7.430	130,02	966.048,60
Excavación zona del Tapón	m ³	3.700	130,02	481.074,00
TOTAL				4.398.341,10

Nota: Cálculo del precio de la excavación del túnel
Elaborado por Andrea Gordón

Tabla 71. *Revestimiento*

Hormigón	Unidad	Cantidad de obra	Precio unitario	Total USD
Hormigón f c = 300 kg/cm ² en Portal de entrada	m ³	3.700	210,00	777.000,00
Hormigón f c = 300 kg/cm ² en Portal de salida	m ³	1.120	210,00	235.200,00
Hormigón f c = 300 kg/cm ² en Tapón	m ³	2.200	240,69	529.518,00
Hormigón f c = 300 kg/cm ² en Revestimiento del túnel	m ³	11.000	240,69	2.647.590,00
Hormigón f c = 250 kg/cm ²	m ³	50	189,88	9.494,00
Hormigón de replantillo, f c = 140 kg/cm ²	m ³	450	168,39	75.775,50
Encofrados para túnel	m ²	13.200	29,56	390.192,00
Encofrado rectos para portales	m ²	1.050	21,84	22.932,00
TOTAL				4.687.701,50

Nota: Cálculo del precio del revestimiento del túnel

Tabla 72. *Relleno de ataguías*

Relleno	Unidad	Cantidad de obra	Precio unitario	Total USD
Relleno para Plataformas con material seleccionado	m ³	58.643	26,59	1.559.323,49
TOTAL				1.559.323,49

Nota: Cálculo del precio del relleno de ataguías

Tabla 73. *Desbroce, desbosque y limpieza*

Desbroce , desbosque y limpieza	Unidad	Cantidad de obra	Precio unitario	Total USD
Desbroce, Desbosque y Limpieza	ha	5	1.177,57	5.299,07
TOTAL				5.299,07

Nota: Cálculo del precio del Desbroce, desbosque y limpieza

8.3 Presupuesto del Sistema de Desvío del Proyecto Chontal

Para el presupuesto se realizó un aproximado de los rubros más representativos.

Tabla 74. *Presupuesto del Sistema de Desvío del Proyecto Chontal*

Descripción	Total USD
Desbroce , desbosque y limpieza	5.299,07
Excavación	4.398.341,10
Hormigón	4.687.701,50
Relleno	1.559.323,49
TOTAL	10.650.665,15

Nota: Presupuesto del Sistema de Desvío del Proyecto Chontal

8.4 Análisis de los precios unitarios más representativos del proyecto Chontal y comparación con el presupuesto del proyecto

En análisis de los precios unitarios de los rubros más representativos se encuentra en el anexo 2.

Una vez realizado el análisis del presupuesto se compara con los valores del proyecto ya existente para ver la variación del costo.

Tabla 75. *Presupuesto actual*

Descripción	Total USD
Desbroce , desbosque y limpieza	460.768,00
Excavación	4.398.341,10
Hormigón	4.687.701,50
TOTAL	9.546.810,60

Nota: Presupuesto actual

Tabla 76. *Presupuesto anterior*

Descripción	Total USD
Desbroce , desbosque y limpieza	4.140,41
Excavación	3.237.503,80
Hormigón	3.873.144,50
TOTAL	7.114.788,71

Nota: Presupuesto del proyecto existente

La diferencia de valores entre los dos presupuestos es de 2.432.021,89 USD

CAPÍTULO 9

ELEMENTOS DE LA ORGANIZACIÓN DEL CIERRE DEL RÍO Y DESVÍO DE LAS AGUAS DEL RÍO GUAYLLABAMBA

Existen dos métodos básicos de cierre de cauces para construcciones de presas.

- a) Método de enrocado frontal, o sea de distribución uniforme del enrocado a lo ancho del cauce cerrado;
- b) Método de cierre lateral o de avanzada que consiste en colocación (volcado) del enrocado desde dos frentes laterales que se unen en las etapas finales del cierre.

El cálculo hidráulico del cierre de un cauce consiste en resolver uno de los siguientes problemas.

- a) Seleccionar el tamaño D_p de la piedra para garantizar el cierre del flujo con el enrocado de perfil compacto.
- b) Determinar la altura límite h_1 del enrocado de partida en el caso de cierre frontal o el ancho B del espacio entre los frentes laterales, en caso de cierre lateral, para los cuales el enrocado con piedras de tamaño D_p conserva el perfil compacto;
- c) Determinar la configuración del enrocado de partida ensanchado, cuando se presenta el arrastre de las piedras volcadas por el flujo de agua.

Antes de que se inicie el cierre, el caudal pasa a través del cauce a cerrar y normalmente en forma simultánea a través del conducto (túnel) de desvío.

En caso de cierre frontal tiene lugar la igualdad:

$$Q_n = \sum Q_i = Q_{CR} + Q_F + Q_{CON} + Q_{AC}$$

Donde:

Q_n : Caudal natural del río

Q_{CR} : Caudal a través de la cresta del enrocado.

Q_F : Caudal de filtración a través del enrocado

Q_{CON} : Caudal a través del conducto de desvío

Q_{AC} : Caudal acumulado aguas arriba del enrocado (ataguía).

En caso de cierre lateral en la igualdad anterior cabe reemplazar el caudal a través la cresta del enrocado Q_{CR} por el caudal Q_{ESP} a través del espacio entre los frentes laterales de cierre.

Durante el proceso de cierre el caudal Q_{CR} (o Q_{ESP}) disminuye y, en el momento de salida del enrocado en todo el frente sobre el nivel de agua o en el momento en que se unen los dos frentes laterales (según el método de cierre), se iguala a cero, lo que origina una redistribución de caudales:

$$Q_n = \sum Q_i = Q_F + Q_{CON} + Q_{AC}$$

En el momento subsiguiente, cuando se ha llenado el volumen de acumulación aguas arriba, y ha cesado la filtración turbulenta, tiene lugar el incremento del nivel de agua frente al enrocado, lo que requiere aumentar la altura del enrocado hasta que surja el momento cuando $Q_F=0$, $Q_{AC}=0$, $Q_n=Q_{CON}$.

Para diseñar y programar el cierre del flujo con el enrocado es necesario disponer de información de los caudales naturales Q_n (m³/s), durante el período de los trabajos de cierre, así como sobre la curva de descarga ($h=f(Q_n)$), ancho del cauce B , datos del material utilizado para el enrocado (peso volumétrico, dimensión de la piedra expresada en diámetro equivalente, capacidad de descarga del conducto de desvío $Q_{CON}=f(Z)$, donde Z es el desnivel entre aguas arriba y aguas abajo para calcular en primera aproximación el cierre del flujo cabe asumir que la sección de flujo es rectangular $\omega_R = B \cdot h$, asumiendo $h = h_{NAT \cdot MAX}$. El ancho del cauce rectangular equivalente $B = \frac{\omega_R}{h_{NAT \cdot MAX}}$,

Donde:

ω_R : Sección de flujo en el río

$h_{NAT \cdot MAX}$: Profundidad máxima en el cauce natural en el sitio del ataguía.

9.1 Equilibrio de la piedra en el flujo

El cierre del cauce con enrocado de perfil compacto es posible si el material del enrocado garantiza su estabilidad, cuando el flujo llega a las más altas velocidades sobre la cresta del enrocado (en caso de cierre frontal) o en el espacio intermedio (en caso de cierre lateral), el valor de la velocidad límite, superado el cual cesa la estabilidad del material del enrocado se determina con la ecuación de S.V.ISBASH:

$$v_L = Y_c \sqrt{2g \frac{\gamma_1 - \gamma_0}{\gamma_0}} \sqrt{D_p} \quad 1)$$

Donde:

Y_c : coeficiente de estabilidad de la piedra al deslizamiento que se asume igual a 0.86 - 0.9;

γ_0 y γ_1 : peso de la unidad de volumen del agua y de la piedra;

D_p : diámetro de la piedra asumida como esfera equivalente.

$$D_p = \sqrt[3]{\frac{6W}{\pi}} = 1.24 * \sqrt[3]{W} \quad 2)$$

Donde:

W : volumen promedio de la piedra

El diámetro de la esfera equivalente es igual, para un cubo de lado a : $D_p = 1.24a$; para un tetraedro con lado a : $D_p = 0.61a$; para una placa rectangular con lados $a*b*c$,

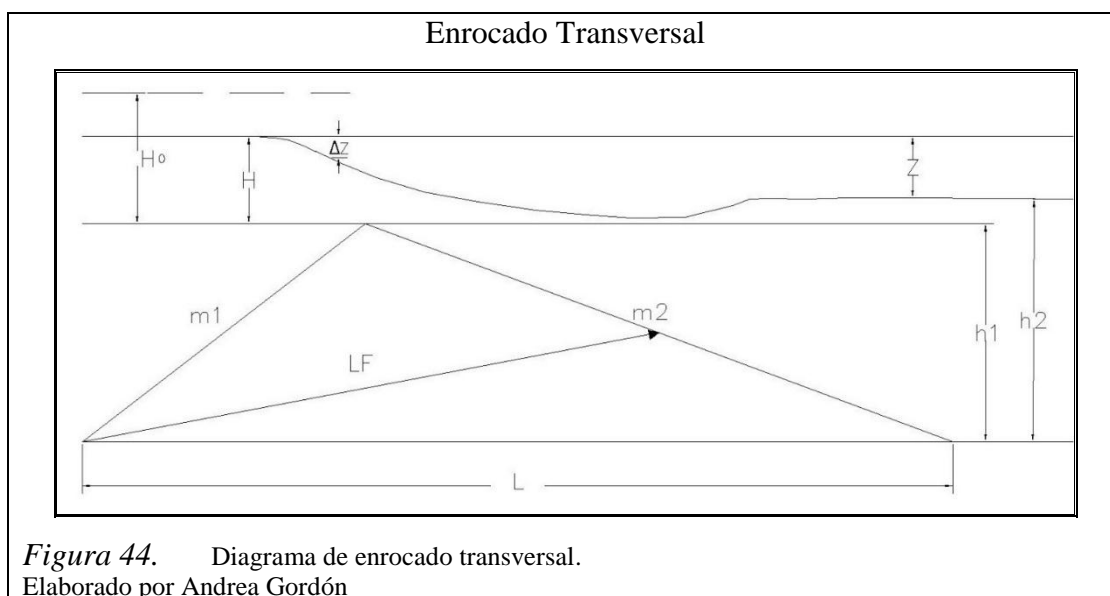
$$D_p = 1.24 \sqrt[3]{a * b * c}$$

De 1) se concluye que para una velocidad v la piedra es estable al deslizamiento si tiene un diámetro:

$$D_p = \left(\frac{v}{0.86 \sqrt{2g \frac{\gamma_1 - \gamma_0}{\gamma_0}}} \right)^2 \quad 3)$$

9.2 Cálculo de un cierre frontal del cauce

- a) La sección transversal del enrocado de partida con perfil compacto se asume de forma triangular con coeficientes de talud $m_1 = 1.25$ y $m_2 = 2$



El área de la sección transversal del enrocado de partida de altura h_1 en este caso es a:

$$\Omega = 0.5h_1(m_1 + m_2) \quad 4)$$

Cuando la velocidad sobre el enrocado es mayor a v_1 el relleno se desploma.

- b) La capacidad de descarga del enrocado como vertedero se determina por la ecuación:

$$Q = mB\sqrt{2g}H^{3/2}$$

$$q = m\sqrt{2g}H^{3/2} \quad 5)$$

Donde B es la longitud del frente del enrocado.

El coeficiente de descarga m se determina de la ecuación.

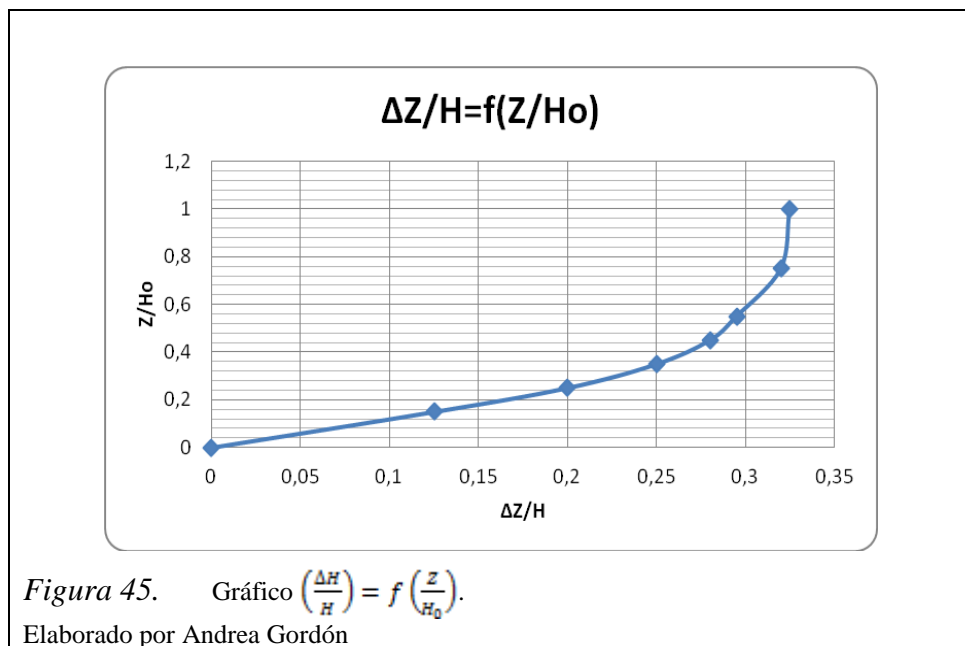
$$m = 0.46 \left(\frac{Z}{H_0} \right)^{1/6}$$

La velocidad media sobre la cresta del enrocado

$$v_{CR} = \frac{Q}{(h-\Delta Z)B} = \frac{q}{H \left(1 - \frac{\Delta Z}{H} \right)} \quad 6)$$

Donde $\frac{\Delta Z}{H}$ se determina del gráfico $\left(\frac{\Delta H}{H} \right) = f \left(\frac{Z}{H_0} \right)$

Z/H_0	0	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.75	1.0
$\Delta Z/H$	0	0.125	0.20	0.25	0.28	0.295	0.32	0.325



El mismo valor de la velocidad media sobre la cresta del enrocado se obtiene de la ecuación

$$v_{CR} = \varphi \sqrt{2gZ} \quad 7)$$

Donde:

$$\varphi = \frac{0.46}{\left(1 - \frac{\Delta Z}{H}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{Z/H}} \quad 8)$$

c) Cálculo del caudal de filtración a través del enrocado

Se realiza con el fin de ajustar los caudales que pasan sobre el enrocado y el conducto de desvío. El caudal unitario de filtración a través de un enrocado de perfil compacto puede ser determinado por la ecuación de S.V.ISBASH

$$q_F = h_1 v_F = h_1 K \sqrt{i_F} \quad 9)$$

donde i_F es la gradiente hidráulica media del flujo de filtración.

$$i_F = \frac{Z}{1.7h_1} \quad 10)$$

El coeficiente de filtración turbulento de acuerdo a Isbash:

$$K = n \left(20 - \frac{a}{D}\right) \sqrt{D_P}, \text{ cm/s} \quad 11)$$

Donde:

n: porosidad del enrocado:

D_p: diámetro equivalente, cm

a: coeficiente, para piedra esférica igual 1.4, para piedra cortada (n=0.40), a=5.

El caudal de filtración generalmente se determina por aproximaciones. Sin embargo si se conoce el caudal de filtración $Q_{F,MAX}$ para Z_{SAL} (en el momento de salida del enrocado del agua, el caudal Q_F para cualquier valor de Z, del inicial al máximo, puede ser determinado en forma aproximada por la ecuación.

$$Q_F = Q_{F,MAX} \sqrt{\frac{Z}{Z_{MAX}}} \quad 12)$$

- d) Capacidad de acumulación aguas arriba, no se considera si el enrocado se ejecuta con pequeña intensidad, con paralizaciones, como consecuencia de lo que el relleno crece en su altura lentamente. Tampoco se considera para pequeños volúmenes aguas arriba.

Determinación del tamaño de piedra en la ataguía para el cierre del cauce

Planteamiento del problema. Determinar el diámetro de la piedra que garantice el cierre del cauce con enrocado de perfil compacto, para los siguientes datos de entrada:

- 1) Ancho del cauce aguas arriba $B_{ar} = 36.20$ m
- 2) Ancho del cauce bajo $B = 37.80$ m
- 3) $Q_n = 76$ m³/s
- 4) $h_n = 4.18$ m
- 5) $Q_{ac} = 0$
- 6) Sección del túnel $\omega_T = 72.5$ m²
- 7) Coeficiente de descarga del conducto de desvío $\mu_{cd} = 0.8$
- 8) $\gamma_1 = 21 \text{ KN/m}^3$

Solución:

- 1) Se asume un diámetro de piedra $D_p = 0.25$ m y se determina con la ecuación 1) la velocidad con la que la piedra pierde estabilidad.

$$v_L = 2.04 \text{ m/s}$$

- 2) El caudal a través del conducto de desvío.

$$Q_{CON} = \mu_{CON} \omega_T \sqrt{2gZ} = 0.8 \omega_T \sqrt{2gZ} = 253 \sqrt{Z} \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{a)}$$

- 3) El caudal de filtración se determina con la ecuación 9)

$$Q_F = B h_1 K \sqrt{i_F}$$

Donde:

$$K = n \left(20 - \frac{a}{D_p} \right) \sqrt{D_p} \text{ cm/s}$$

$$K = 0.40 \left(20 - \frac{14}{25} \right) \sqrt{25} = 0.39 \text{ cm/s}$$

$$Q_F = B h_1 * 0.39 \sqrt{i_f} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_F = 18 h_1 * 0.39 \sqrt{i_f} = 7 h_1 \sqrt{i_f} \quad \text{b)}$$

- 4) El caudal sobre la cresta del enrocado para $m = 0.46 \left(\frac{Z}{H_0} \right)^{1/6}$

$$Q_{CR} = m B \sqrt{2g} H_0^{3/2}$$

$$Q_{CR} = 0.46 \left(\frac{Z}{H_0} \right)^{1/6} B \sqrt{2g} H_0^{3/2}$$

$$Q_{CR} = 0.46 Z^{1/6} B * 0.4 * \sqrt{2g} H_0^{4/3}$$

De donde se obtiene la carga sobre la cresta (despreciando la velocidad de acercamiento)

$$H = \left[\frac{Q_{CR}}{0.46 * B * 0.4 * \sqrt{2g} Z^{1/6}} \right]^{3/4}$$

$$H = \left[\frac{Q_{CR}}{36.7 Z^{1/6}} \right]^{3/4} \text{ m} \quad \text{c)}$$

En el proceso de cálculo el caudal sobre la cresta se determina para Q_n dado y conocido Q_{CON} y Q_F por la ecuación:

$$Q_{CR} = Q_n - Q_{CON} - Q_F$$

5) El desnivel final Z_{FIN} que se establece una vez que cesa la filtración se determina con la ecuación a)

$$Z_{FIN} = \frac{(Q_{CON})^2}{(0.8 * \omega_T \sqrt{2g})^2}$$

$$Z_{FIN} = 53\sqrt{Z}$$

$$Z_{FIN} = \left(\frac{76}{53}\right)^2 = 2.05m$$

6) El desnivel con el cual el enrocado sale del agua se determina para el caudal evacuado en este momento por el conducto de desvío considerando la presencia de filtración a través del enrocado. La altura del enrocado para su salida del agua será algo menor de la magnitud $h_n + Z_{SAL} = 4.18 + 2.05 = 6.23$ m.

Asumiendo la altura del enrocado de partida, en primera aproximación, igual a 6m (osea $Z_{SAL} = 6.0$ m - 4.18 m = 1.82m) se determina con la ecuación (b) el caudal de filtración:

$$Q_{F,MAX} = 7h_1\sqrt{i_F}$$

$$Q_{F,MAX} = 7 * 6\sqrt{0.18} = 18m^3/s$$

En donde, por la ecuación (10)

$$i_F = \frac{Z}{1.7h_1} = \frac{1.82}{1.7 * 6.0} = 0.18$$

En consecuencia, con cargo al conducto de desvío queda:

$$Q_{CON} = Q_n - Q_F = 76 - 18 = 58 \text{ m}^3/\text{s}$$

y el desnivel por la ecuación (a) es igual a:

$$Z_{SAL} = \left(\frac{58}{53}\right)^2 = 1.2 \text{ m}$$

en segunda aproximación:

$$h_1 = h_n + Z_{SAL}$$

$$h_1 = 4.18 + 1.2 = 5.4 \text{ m}$$

$$i_F = \frac{1.2}{1.7 * 5.4} = 0.13$$

$$Q_F = 7 * 5.4 \sqrt{0.13} = 13.6 \approx 14 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{CON} = 76 - 14 = 62 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Z_{SAL} = \left(\frac{62}{53}\right)^2 = 1.4 \text{ m}$$

No cabe realizar otra aproximación en vista del carácter aproximado de las ecuaciones.

7) El caudal de filtración a través del enrocado compacto, para un desnivel entre tramos Z y valores conocidos $Q_{F,MAX} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Z_{SAL} = 1.4 \text{ m}$, por la ecuación (12) será:

$$Q_F = Q_{F,MAX} \sqrt{\frac{Z}{Z_{SAL}}} = 14 \sqrt{\frac{Z}{1.4}} = 11.8 \sqrt{Z} \quad (d)$$

8) Asumiendo valores cualesquiera de Z entre $Z=0.35\text{m}$ y $Z=Z_{\text{SAL}}=1.4\text{m}$, los cálculos se ordenan en una tabla (ver siguiente tabla).

Se calcula con la ecuación (a) el caudal por el conducto de desvío Q_{CON} ; el caudal sumatorio $Q_{\text{CR}}+Q_{\text{F}}$ que pasa por la sección del enrocado; con la ecuación (d), el caudal de filtración; el caudal $Q_{\text{CR}}=Q_{\text{n}}-Q_{\text{F}}-Q_{\text{CON}}$ en la cresta del enrocado; el caudal unitario q_{CR} ; con la ecuación (c) la carga H sobre la cresta del enrocado; altura del enrocado h_1 ; desnivel relativo Z/H ; con las ecuaciones (6) y (7) la velocidad sobre la cresta del enrocado. De los cálculos se desprende que la velocidad v_{CR} llega a su valor máximo cuando $Z=0.6\text{m}$.

La velocidad v_{CR} , para $0.40 < Z \leq 1 \text{ m}$ es mayor que la permisible por la condición de estabilidad de la piedra de la dimensión dada $D=0.25\text{m}$ (la velocidad permisible es $v_L=2.42 \text{ m/s}$, ver punto 1) del cálculo).

9) Con la ecuación (3) se determina la dimensión de la piedra que asegura la formación del enrocado de perfil compacto:

$$D_p = \left(\frac{2.58}{0.86 \sqrt{19.62 \frac{21 - 9.81}{9.81}}} \right)^2$$

$$D_p \approx 0.3 \text{ m}$$

El caudal de filtración se obtiene para $D_p=0.3\text{m}$ algo mayor que para $D_p=0.25 \text{ m}$ y, consecuentemente, el caudal Q_{F} en cada momento considerado será menor al determinado en el cuadro. Sin embargo debido a la diferencia pequeña en las dimensiones de la piedra propuesta y la obtenida, en el cálculo, una segunda aproximación no cabe realizar.

10) El área de la sección transversal del enrocado se determina por la ecuación (4).

Tabla 77. *Cálculo del cierre del cauce*

Cuadro con resultados										
Z	Q _{CON}	Q _{CR} +Q _F =Q _n -Q _{CON}	Q _F	Q _{CR} =Q _n -Q _{CON} -Q _F	q _{CR} =Q _{CR} /B	H	h ₁ =h _n +Z-H	Z/H	ΔZ/H	v _{CR}
m	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m	m	-	-	m/s
0,35	31,40	44,60	7,00	37,60	2,09	1,16	3,37	0,30	0,23	2,32
0,40	33,60	42,40	7,50	34,90	1,94	1,08	3,40	0,37	0,26	2,42
0,50	37,60	38,40	8,30	30,10	1,67	0,94	3,64	0,53	0,30	2,54
0,60	41,00	35,00	9,10	25,90	1,44	0,82	3,96	0,73	0,32	2,58
0,75	46,00	30,00	10,20	19,80	1,10	0,65	4,28	1,25	0,33	2,50
1,00	53,00	23,00	11,80	11,20	0,65	0,41	4,77	2,44	0,33	2,36
1,40	62,00	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,58	-	-	-
2,05	76,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,23	-	-	-

Nota: Elaborado por Andrea Gordón

CONCLUSIONES

- La construcción del túnel de desvío en un proyecto hidroeléctrico es de mucha importancia, ya que de la construcción de este túnel junto con las ataguías aguas arriba y aguas abajo depende la construcción del cuerpo principal del proyecto que es la Presa.
- El túnel de desvío se diseñó hidráulicamente para que resista una avenida de $1242\text{m}^3/\text{s}$, con un período de retorno de 10 años. El túnel será revestido de hormigón en toda su longitud.
- Una vez realizado el estudio geológico, geotécnico en el área del túnel de desvío se determinó que en el área del túnel a excepción de las zonas de portal de entrada y porta de salida está constituido por un macizo rocoso perteneciente a la granodiorita, material de buenas características para el diseño de las obras mencionadas.
- Al igual que la mayoría de las decisiones en proyectos de Ingeniería Civil, a definición de un sistema de desvío para la construcción de obras hidráulicas, es producto de un proceso de comparación de alternativas que incluye optimizaciones técnico económicas, con la concurrencia de la Ingeniería Civil y la Ingeniería Económica.
- Los problemas de análisis y definición del estado tensión- deformación en los macizos de implantación de obras civiles subterráneas distan aun de contar con modelos analíticos que reemplacen a modelos empíricos actuales.

LISTA DE REFERENCIAS

CHOW, V.T. . (2004). *Hidráulica de canales abiertos*. Nomos.

ELECTROWATT, ASTEC. (1979). Proyecto Hidroeléctrico Guayllabamba. Estudios de Factibilidad Villadora Chontal. Informe Final. Tomo II-A Hidrología. Quito.

GEODATA-ASTEC. (2009). *Revisión y Validación de los Estudios de Factibilidad Existentes - Central Villadora*. Quito: HidroEquinoccio.

INAMHI. Anuarios Hidrológicos (1963 - 2010). Quito.

INAMHI. Anuarios Meteorológicos (1963 - 2010). Quito.

SEVILLA J. (1977) Informe Geologico, Proyecto Hidroelectrico Guyallabamba. Estudio de Prefactibilidad. Departamento de Geologia, Division de Estudios de INECEL.

GONZALES DE VALLEJO L (2002) *Ingeniería Geológica*. Túneles

UMANSKIY A (Moscú 1983). Manual del Proyectista tomo III. Teoría y cálculo.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y ELECTRIFICACIÓN DE LA UNIÓN SOVIÉTICA - INSTITUTO DE PROSPECCIÓN E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA (Hydroproyekt) (Moscú 1982). Manual para el diseño de túneles hidráulicos.

BUGAEVA O, ZURABOV G. Guidrotekhnicheskie Tunneli Guidroelektricheskik Stanziy. (Túneles Hidráulicos de Estaciones Hidroeléctricas de Olga Bugaeva)

ANEXOS

- Anexo 1.** Planos (Archivo digital)
- Anexo 2.** Análisis de precios unitarios